

24787

**T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLLARINDA KULLANILAN
ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

İHSAN GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**1992
ELAZIĞ**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLLARINDA KULLANILAN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

İhsan GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

Danışman

(İmza)

(İmza)

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****KARAYOLLARINDA KULLANILAN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI****İhsan GÜZEL****Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı****1992, Sayfa: 124**

Öngerilmeli beton elemanlar son zamanlarda Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından, devlet ve il yollarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada öngerilmeli betonun uygulama şekilleri ve boyutlandırılması incelenmiştir.

Yapılan araştırmada sonucunda projelerde izostatik sistemlerde öçekme, ard çekme metodları; hiperstatik sistemlerde ise sürme, ankrobelman yöntemi uygulanmıştır.

İzostatik olarak yapılan köprü, viyadük, alt ve üst geçitlerde U, I tipi öngerilmeli beton kiriş kesitleri kullanılmıştır.

Statik sistemi hiperstatik olarak projelendirilen viyadük, uzun köprü inşaatlarında tabliyeler U kesitlidir. Hiperstatik olarak yapılan Elazığ-Malatya devlet yolundaki Kömürhan Köprüsünü ankrobelman; Kınalı Sakarya Otoyolu projesindeki Molla Gürani Viyadüğünü sürme yöntemlerine misal verilebilir.

İzostatik olarak yapılan Aralık-Sederekarayolunda Aras Nehri üzerindeki Aras karayolu köprüsünde öngerilmeli beton kirişler I kesitlidir.

Bu köprüde genişlik 12 m, platform genişliği ise 9.5 m'dir. Köprü uzunluğu ise 276 m'dir. Açıklıklarda beş adet öngerilmeli kiriş mevcut olup; köprünün tabliye kalınlığı ise 24 cm'dir.

Öngerilmeli beton kirişler ard çekmeli metodla $H_{30}-S_{24}$ hareketli yüklere göre boyutlandırılmıştır.

Bir kirişte 4 adet (5-12) 270 K tipi öngerme kablosu mevcut olup, bu kabloların germe işlemi YSL öngerme sistemi ile yapılmış ve E tipi ankrajlar kullanılmıştır. Betonarme donatısı olarak da BÇ III seçilmiştir.

Kirişteki 4 adet öngerme kablosuna toplam 6700 kN germe kuvveti uygulanmış; minimum ve maksimum öngerilme kuvvetindeki kayıplar gözönünde bulundurularak TS 3233'de verilen aktarma ve kullanma safhaları için, betonun basınç ve çekme emniyet gerilme sınırları kontrol edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda seçilen kesitin kritik üstü kesit olduğu anlaşılmış; kesitin dolu (hareketli yükler + sabit yükler) ve boş (sabit yükler) yüklemeler altında kesitin üst ve alt kenarlarındaki gerilmeler tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre beton kesitinden ekonomiklik öngerme kuvvetinden de maksimum tasarrufun sağlanıp sağlanmadığı incelenmiştir.

Öngerilmeli elemanların boyutlandırılması için beton kesiti boyutları yardımcı tablolar yardımıyla bulunup, sınırlar gerilmeleri ve sehim sınırları gözönünde bulundurularak lineer bir programlama ile optimum öngerme kuvveti bulunabileceği gösterilmiştir.

Otoyol projelerinde öçekme metoduyla yapılan U tipi beton kesitlerin özel problemleri ve avantajları sıralanıp, köprü tabliyesinin bir metrekaresine giden malzeme miktarları tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Öngerilmeli beton kirişleri, optimum boyutlandırma.

SUMMARY**Masters Thesis****THE OPTIMUM DESIGN OF PRESTRESSED
FORCED CONCRETE HIGHWAY BRIDGE BEAMS****İhsan GÜZEL****Fırat University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Civil Engineering****1992, Page: 124**

The prestressed concrete units widely used in the state and province roads by the General Directorate of Highway, recently. In this study the application and the design of prestressed concrete beams were examined.

Pre-tension and post-tension methods in isostatic systems and sliding and ankrobelman methods in hyperstatic systems were used in the investigation.

U and I type cross-sections were used in the bridge, viaducts, under-passes and over passes constructed as isostatic system.

The slabs are u cross-sections, in the viaducts and long bridges were designed as hyperstatic system.

The prestressed beams of the Aras Highway Bridge Constructed as isostatic over the Aras River on the Aralık-Sederek Highway are in I cross sections.

The bridge has a width of 12 m, the platform width of 9,5 m and also has a length of 276 m. There are five pre-stressed beams along the span with 24 cm slab thickness.

The pre-stressed beams were designed according to dynamic loads $H_{30}-S_{24}$ using post-tension method. In a single beam there are four (5-12) 270 K type pretension rods and stretching of these rods has been done with VSL pretension system using the E type anchorages.

Total 6700 kN tension force has been applied on the four rods. By taking in to account the maximum and minimum tension force losses the allowable tension and compressive force limits of the concrete have been checked for the phases of transferring and using, given in the TS 3233 specification.

At the end of computations, it has been observed that the chosen cross-section was over-critical. In addition, under the full (dynamic and dead loads) and the empty (dead loads) loadings conditions the stresses at the top at the bottom sides of the cross-section have been determined. According to these results, it has been studied whether the maximum economy was gained or not, in the cross-section and in tension force.

For the optimum design of the prestressed elements, dimensions of the cross-section can be determined using the tables. Additionally, it has been shown that it could be found the optimum pretension force by taking into account the deflections the stress limits, by using a linear programming technique.

The specific properties and advantages of the pre-tension method in the I-type cross-section were summarized and the amount of material for one meter square of bridge slab.

Key Words: Prestressed concrete beams, the optimum design.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılmasında, yoğun çalışmalarına rağmen değerli yardımlarını ve yakın ilgisini esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Ali Sayın ERDOĞAN'a teşekkürü bir görev addediyorum.

Ayrıca, yardımlarını esirgemeyen Yüksek Lisans programını yürüten Fırat Üniversitesi değerli yöneticilerine ve bölüm hocalarıma, bu tezin yazılmasında titizlik gösteren İhsan GENÇ'e, çizim ve tabloların hazırlanmasında bana yardımcı olan, TCK 12. Bölge Müdürlüğünde görev yapan Teknik Ressam Fatih YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER	xii
RESİMLER	xv
TABLolar	xvi
SİMGELER	xvii
 1. GİRİŞ	 1
1.1. Öngerilmeli Betonun Betonarme İle Mukayesesi ve Betonarmeye Nazaran Üstünlükleri	 8
 2. MALZEME	 10
2.1. Beton	10
2.1.1. Çimento	10
2.1.2. Su-agrega	10
2.1.3. Katkı maddeleri	11
2.2. Öngerme Çeliği	12
2.2.1. Öngerme telleri	13
2.2.2. Öngerme toronu	15
2.2.3. Öngerme çubuğu	15

2.2.4. Öngerme kablosu	16
2.3. Normal Çelik	16
3. ÖNGERİLME YERME METODLARI	17
3.1. Öçekme Metodu	17
3.1.1. Gerede-Ankara otoyolu Buğralar Köprüsünde öçekme metodunun uygulanması	19
3.2. Ard Çekme Metodu	22
3.2.1. Ard çekme metodunun Aralık-Sederek yolu Aras karayolu Köprüsünde (Umut Köprüsü) uygulanması	22
4. ÖNGERİLMELİ BETON TAŞIYICI ELEMAN VE SİSTEMLERİN HESAP ESASLARI	25
4.1. Limit Durumları	25
4.2. Elastik Hesap Kavramı	26
4.3. Öngerilmeli Taşıyıcı Sistem Sınıfları	28
5. ÖNGERİLMELİ SİSTEMLERİN HESABINDA KESİT DEĞERLERİ	29
6. BASİT MESNETLİ BİR KİRİŞTE BAHİS KONUSU OLABİLEN YÜKLEME DURUMLARI VE GERİLMELER	34
6.1. Aktarma Durumu	34
6.2. Kademeli Öngerilme Vermek Mümkün ve Kiriş Yalnız Sabit Yükle Yüklü	37
6.3. Kiriş İşletmeye Girmiştir; Bütün Sabit Yüklerle Beraber q Hareketli Yüğü de Etkimektedir	38

6.4. Boyutlandırmada Takip Edilmesi Gereken Yol	39
6.5. Öngerilmeli Betonda En Çok Kullanılan Kesit Tipleri ve İlk Boyut Tahmini	
İçin Bazı Öneriler	40
6.5.1. Beton kesit	40
7. EĞİLMEME MARUZ KESİTLERİN BOYUTLANDIRILMASI	43
7.1. Kesit Tipinin Seçimi	43
7.2. Kesitte Boş ve Dolu Durumda Gerçekleşmesi Gereken Şartlar	47
7.3. Dört Eşitsizliğin; Dördünün de Eşitlik Haline Getirilmesi Şartı ve Bu Şartın	
Sağlandığı Özel Durumda Kesit Tayini	48
7.3.1. Beton kesitin tayini	51
7.3.2. P ve E nin tayini	54
7.4. Dört Limit Gerilmeye Erişilmeyen Durumlar	57
7.5. Özel Kesitler	61
7.5.1. Kritik altı kesitler	62
7.5.2. Kritik üstü kesitler	63
7.6. Kesitlerin Kritik Durumunun Önceden Hesabı	66
8. KOMPOZİT KİRİŞLER	67
8.1. Kompozit Kirişlerin Tanımı ve Tipleri	67
8.2. Kompozit Kesitlerin Hesap Esasları	68
9. BASİT MESNETLİ BİR KİRİŞTE KABLO GEÇİŞ BÖLGELERİ	70
10. EKONOMİK KESİT	74

11. ÖNGERİLMELİ BETONDA GERİLME KAYIPLARI	76
11.1. Sürtünme Kayıpları	76
11.2. Sıkıştırıcı Oturması	78
11.3. Öngerilmeli Çeliğin Rölaksasyonu Sonucu Oluşan Kayıplar	79
11.4. Betonun Rötire ve Sünmesi Sonucu Oluşan Kayıplar	80
11.5. Betonun Elastik Kısalmasından Oluşan Kayıplar	82
 12. KARAYOLLARINDA KÖPRÜ, YİYADÜK YAPIMINDA KULLANILAN	
ÖNGERİLMELİ KİRİŞ VE TABLİYELERİN İNCELENMESİ	83
12.1. Yapı Sistemlerinin Seçimi	83
12.1.1. Mesnet şartları	83
12.1.2. Ekonomik sebepler	84
12.1.3. Temel şartları	85
12.2. Aras Nehri Üzerinde Yapılan Hasret Köprüsünün İncelenmesi	93
12.2.1. Kirişlerin imalatı	93
12.3. Otoyollarımızda Uygulanmakta bulunan Kompozit Kesitlerin Özel	
Problemleri	94
12.3.1. Sistemin etüdü	96
12.3.2. Türkiye'den örnek	98
 13. ÖNGERİLMELİ ELEMANLARIN LİNEER PROGRAMLAMA İLE	
OPTİMİZASYONU	99
13.1. Lineer Programlama	102

14. NAHÇIYAN SINIRINDA ARAS NEHRİ ÜZERİNDEKİ HASRET (UMUT)	
KÖPRÜSÜNÜN İNCELENMESİ	107
15. SONUÇLAR	120
KAYNAKLAR	123
EKLER	125



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 : Kırılma boy değişimleri.....	2
Şekil 1.2 : Basit mesnetli bir kirişte kiriş kesiti, donatı ve gerilme durumları.....	3
Şekil 1.3 : Kesitte gerilmelerin düzgunleştirmenin kesiti ne kadar küçülteceği durumu.....	5
Şekil 1.4 : Kesitte öngerme kuvveti tatbik edildiğinde gerilme durumları.....	5
Şekil 1.5 : Kesite eksantrik öngerme kuvveti tatbik edildiğinde gerilme durumları...	7
Şekil 2.1 : Gerilme, birim boy değişim durumu.....	14
Şekil 3.1 : Öncekme metodunun uygulama şekli.....	17
Şekil 3.2 : Büyük negatif momentlerin kiriş uçlarında küçültülmesi için kullanılan plastik kılıfların yerleştirilme durumu.....	19
Şekil 3.3 : Gerede-Ankara otoyolu Buğralar köprüsünde kullanılan öngerilmeli kiriş kesiti.....	20
Şekil 3.4 : Kür devre durumu.....	21
Şekil 3.5 : E tipi öngerme ankraj durumu.....	23
Şekil 5.1 : Ön çekmeli eleman kesiti.....	29
Şekil 5.2 : Ard çekmeli eleman kesiti.....	30
Şekil 5.3 : Kesit boyutları.....	31
Şekil 6.1 : Öngermeli basit mesnetli kiriş boykesiti.....	34
Şekil 6.2 : Öngermeli basit mesnetli bir kirişte eksantrite durumu.....	35
Şekil 6.3 : Yalnız düşey simetri eksenli kesitler.....	41
Şekil 6.4 : İki simetri eksenli kesitler.....	41
Şekil 7.1 : Kesitlerin boyutları.....	44

Şekil 7.2 : Basit mesnetli, ard çekmeli ve kesit tipi seçilmiş kiriş boykesiti.....	47
Şekil 7.3 : Kesitin dolu ve boş yükleme durumunda gerilme durumları.....	55
Şekil 7.4 : Kesitin kritik üstü olması halinde dolu ve boş yükleme durumunda gerilme durumları.....	58
Şekil 7.5 : Kesitin dolu yüklü olması halinde gerilme durumları.....	60
Şekil 8.1 : Karayollarında kullanılan öngerilmeli kompozit elemanlı kiriş kesit tipleri.....	67
Şekil 8.2 : Denk kesit.....	68
Şekil 9.1 : Öngerilmeli kiriş boykesitinde kablo geçiş bölgeleri.....	71
Şekil 9.2 : Kritik altı kesitlerde bileşik kablo durumu.....	71
Şekil 9.3 : Kritik kesitte bileşik kablonun durumu.....	72
Şekil 9.4 : Kritik üstü kesitlerde bileşik kablonun durumu.....	72
Şekil 10.1: Kritik altı, kritik ve kritik üstü kesitlerde olması gereken gerilme durumları.....	75
Şekil 11.1: Sürtünme kayıplarının tespitinde kullanılan nomogram	77
Şekil 11.2: 20°C lik çevre ısısında röleksasyon kayıplarının sonuç değerleri.....	80
Şekil 11.3: Çok düşük röleksasyonlu halatlarda ısı etkisinden doğan röleksasyon kayıplarının sonuç değerleri	80
Şekil 11.4: Betonun rötre sonucu oluşan kayıp durumları	81
Şekil 11.5: Betonun sünme sonucu oluşan kayıp durumu	81
Şekil 12.1: Öngerilmeli kiriş elemanının mesnet bölgesinde yerleşim durumu	84
Şekil 12.2: İzostatik, hiperstatik sistemlerde moment dağılım durumu	85
Şekil 12.3: Akşemsettin Viyadüğünün boykesiti, enkesiti	88
Şekil 12.4: Sürme yöntemiyle yapılan çalışmalarda tabliyede beton döküm işlem Sırası	88

Şekil 12.5: Enkesitlerin iki etapta dökülmesi durumunda kalıpların şematik durumu..	89
Şekil 12.6: Adana-Gaziantep otoyol projesinde tabliye enkesiti ve öngerilmeli beton giriş elemanının enkesiti	96
Şekil 12.7: 23 metre açıklık için imal, taşıma, montaj maliyetinin optimizasyon durumu	97
Şekil 13.1: Öngerilmeli girişlerin tipik enkesitleri	100
Şekil 13.2: Basit mesnetli öngerilmeli giriş elemanının boykesiti, enkesiti ve yükleme durumları	103
Şekil 13.3: Optimum öngerilme kuvvetinin bulunması için lineer programlama ile mümkün olan bölgenin tespiti	105
Şekil 14.1: Hazret Köprüsünün tabliye enkesiti	107
Şekil 14.2: Öngerilmeli giriş elemanının enkesiti	108
Şekil 14.3: Öngerilmeli giriş elemanının dolu ve boş yüklemeler sonucunda alt ve üst kenarlarında meydana gelen gerilme durumları	115
Şekil 14.4: Sürtünme ve kama sıyrılmasından doğan; öngerilme kuvvetindeki kayıp durumu	117
Şekil 14.5: İlk öngerme kuvveti tatbikinden sonra öngerilmeli giriş elemanında alt ve üst kenarlarda oluşan gerilme durumları	118

RESİMLER

	<u>Sayfa</u>
Resim 1. Prekast kirişte donatı yerleşimi	91
Resim 2. Prekast kiriş dış kalıbı	92
Resim 3. Prekast kiriş taşıyıcısı	92
Resim 4. Kiriş yerleştirme sistemi	92
Resim 5. Yapıda prekast kirişlerin alttan görünüşü	92



TABLOLAR

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Betonların Karakteristik Silindir ve Eşdeğer Küp Basınç Dayanım Durumları	11
Tablo 2.2. Öngerme Çeliğinin Mekanik Özellikleri	14
Tablo 2.3. Tel Çaplarına Göre Toronların Mekanik Özellikleri	15
Tablo 7.1. Üst ve Alt Başlık Tayininde t_2/d , b_w/b Değerlerine Göre k_m Değerinin Tespiti	45
Tablo 7.2. g_2/p , p Değerlerine Bağlı Olarak λ Değerinin Tespiti	59
Tablo 12.1. Adana-Gaziantep Otoyol Projesinde Öngerilmeli Kiriş İmalatında Ortalama Olarak metrekare Başına Düşen Öngerilmeli Beton ve Çelik Miktarları	98

SİMGELER LİSTESİ

A	Beton kesit alanı	m^2
A_c	Net beton kesit alanı	m^2
A_d	Öngerme kablosunun geçeceği kılıf alanları toplamı	m^2
A_d	Denk kesit alanı (Bölüm: 8)	m^2
A_p	Prefabrik beton kesit alanı	m^2
A_r	Betonun enkesit çevresi	m^2
A_0	Öngerme kuvveti uygulandıktan sonra çalışan beton kesit alanı	m^2
A_y	Yerinde dökme beton kesit alanı	m^2
A_{c1}	Beton kesit alanının küçük çıkması halinde ilave edilmesi gereken alan	m^2
A_{ps}	Öngerme donatısının kesit alanı	m
b	Beton kesit üst tabla genişliği	m
b_1	Beton kesitin alt tabla genişliği	m
b_d	Denk beton kesitin genişliği	m
b_y	Yerinde dökme betonun kesit genişliği	m
b_w	Beton kesit gövde genişliği	m
C_c	Öngermeli betonun birim fiyatı	TL/m^3
C_f	Beton kesit alanının tespiti için kullanılan katsayı.	
C_i	Beton kesitin atalet momentinin tespiti için kullanılan katsayı.	
C_0	Ağırlık merkezinin alt kenara olan mesafesini bulmak için kullanılan katsayı.	
C_p	Kalıbın birim fiyatı	TL/m^2
C_r	Öngerme kuvvetinin tatbikindeki birim fiyatı	TL/kN
C_u	Ağırlık merkezinin üst kenara olan mesafesinin tespiti için kullanılan katsayı.	
D	Öngerilmeli beton elemanında oluşacak sehim miktarı	m
d	Bileşik öngerme donatısının üst kenara olan mesafesi	m
d^L	Müsaade edilir üst sehim	m

d^U	Müsaade edilir alt sehîm	m
d^r	Yüklemeden dolayı oluşan sehîm	m
e	Eksantrite	m
e	Doğal logaritma tabanı (Bölüm: 11).	
E_c	Öngerilmeli betonun elastisite modülü	kN/m ²
E_p	Prefabrik öngerilmeli betonun elastisite modülü	kN/m ²
E_s	Öğertme donatısının elastisite modülü	kN/m ²
E_y	Yerinde dökme betonun elastisite modülü	kN/m ²
E_{cj}	J günllük betonun elastisite modülü	kN/m ²
f_{ck}	Betonun karakteristik silindir veya küp basınç dayanımı	N/mm ²
f_{rk}	Öğertme donatısının minimum kopma dayanımı	N/mm ²
f_{ckj}	J günllük betonun karakteristik basınç dayanımı	N/mm ²
f_{ctk}	Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı	N/mm ²
g	Sabit yük şiddeti	kN/m
$G_c(j)$	Betonun kayma modülü.	
h	Beton kesitin yüksekliğı	m
h_0	Beton kesitin etkin yüksekliğı	m
h'	Öngerilmeli beton kesitinde pas payı	m
I	Beton kesitin atalet momenti	m ⁴
I_d	Denk beton kesitin atalet momenti	m ⁴
K	Birim uzunlukta istenmiyen dönüşler için sürtünme katsayısı.	
K_1	Beton kesitinde alt çekirdek noktası.	
K_2	Beton kesitinde üst çekirdek noktası.	
k_1	Alt çekirdek noktasının ağırlık merkezine mesafesi	m
k_2	Üst çekirdek noktasının ağırlık merkezine mesafesi	m
k_m	Beton kesitin boyutlandırılmasında kullanılan katsayı	m
L	Öngerilmeli beton elemanın uzunluğu	m
l^x	Basit mesnetli elemanlarda açıklık	m
L_k	Kablo boyu	m

L_3	Sıkıştırıcı oturmasının (kalanmanın) etkidiği boy	m
M	Moment	kN.m
M_g	Sabit yüklerden meydana gelen moment	kN.m
M_m	Kirişin kendi ağırlığından meydana gelen moment	kN.m
M_p	Hareketli ve sabit yüklerden meydana gelen moment	kN.m
M_q	Hareketli yüklerden meydana gelen moment	kN.m
N	Basınç kuvveti	kN
n	Öğermeli donatısının elastisite modülünün öğermeli betonun elastisite modülüne oranı.	
P	Kayıplardan sonraki öğermeli kuvveti	kN
p	Hareketli ve sabit yüklerin toplam şiddeti	kN/m
P_0	İlk öğermeli kuvveti	kN
$P_{(s)}$	Öğermeli kuvveti verildikten sonra beton kirişe aşağıdan yukarı doğru etkiyen yayılı yük şiddeti	kN/m
$P_{(x)}$	Germe noktasında x uzaklığında öğermeli kuvveti	kN
r	Beton kesit tipinin seçiminde kullanılan katsayı.	
q	Hareketli yük şiddeti	kN/m
s	Linear programlamada sınırlamalarında kullanılan katsayı.	
t_1	Beton kesitin alt tabla kalınlığı	m
t_2	Beton kesitin üst tabla kalınlığı	m
U	Atmosfere açık beton kesit çevresi	m
V	Öğermeli beton elemanda öğermeli kuvveti sonucunda oluşan kesme kuvveti	kN
y_1	Beton kesitin ağırlık merkezinin alt kenara mesafesi	m
y_2	Beton kesitin ağırlık merkezinin üst kenara mesafesi	m
y_{1d}	Denk beton kesitin ağırlık merkezinin alt kenara mesafesi	m
y_{1p}	Prefabrik beton kesitin ağırlık merkezinin denk kesitin alt kenarına olan mesafesi	m
y_{1y}	Yerinde dökme beton kesitin denk kesitin alt kenarına olan mesafesi	m
Z	Maliyet fonksiyonunu belirtir	TL

W_1	Beton kesitin alt kenarına göre mukavemet momenti	m^3
W_2	Beton kesitin üst kenarına göre mukavemet momenti	m^3
W_{1d}	Denk beton kesitin alt kenarına göre mukavemet momenti	m^3
W_{2d}	Denk beton kesitin üst kenarına göre mukavemet momenti	m^3
X	İlk öngerme kuvveti tatbikinde oluşan moment ($P_0.e$)	$kN.m$
α	Bileşik öngerme donatısının yatayla yaptığı açı	rad.
α	Yerinde dökme betonun elastisite modülünün prefabrik betonun elastisite modülüne oranı (Bölüm: 11).	
α_0	Üst tabla kalınlığının tespiti için kullanılan katsayı.	
α_u	Alt tabla kalınlığının tespiti için kullanılan katsayı.	
β	Gövde kalınlığının tespiti için kullanılan bir katsayı	
γ	Poisson oranı.	
ϵ	Pas payının kesit yüksekliğine oranı.	
ϵ_{are}	Rötre ve sünmenden meydana gelen birim boy kısalma katsayısı.	
ϵ_{300}	Rötre miktarı tespiti için kullanılan katsayı.	
λ	Ağırlık merkezinin alt ve üst kenara olan mesafelerini bulmak için ikinci derece denklemin çözümü ile bulunan katsayı.	
d	Betonarme yoğunluğu	kN/m^3
η	Öngerilme kayıplarından sonra kirişe etkiyen öngerilme kuvveti yüzdesi.	
p	Kesitin ekonomikliğini ifade eden katsayı.	
δ_1	Projeyi yapan tarafından seçilen katsayı.	
δ_3	Beton yüksekliğinin seçiminde projeci tarafından seçilen katsayı.	
ΔL_c	Sıkıştırıcı oturması (Kamalanma)	m
ΔP	Ankraj noktasındaki kuvvet kaybı	kN
Δp	Bir metredeki öngerme kuvveti kaybı	kN

Δp_{c+s}	Rötre ve şişme sonucunda kayıp yüzdesi	%
μ	Sürtünme katsayısı.	
ϕ_{co}	Betonun sonuç şişme sayısı.	
σ	Gerilme	kN/m ²
σ_G	Ağırlık merkezi hizasındaki gerilme	kN/m ²
σ_{1a}	Kirişlere bütün yükler etkiğinde beton kesitin alt kenarında meydana gelen gerilme	kN/m ²
σ_{2a}	Kirişlere bütün yükler etkiğinde beton kesitin üst kenarında meydana gelen gerilme	kN/m ²
σ_{1g}	Bütün sabit yüklerden meydana gelen beton kesitin alt kenarındaki gerilme	kN/m ²
σ_{2g}	Bütün sabit yüklerden meydana gelen beton kesitin üst kenarındaki gerilme	kN/m ²
σ_{1p}	Hareketli ve sabit yüklerden meydana gelen beton kesitin alt kenarındaki gerilme	kN/m ²
σ_{2p}	Hareketli ve sabit yüklerden meydana gelen beton kesitin üst kenarındaki gerilme	kN/m ²
σ_{po}	Öngerme çeliğinin başlangıç gerilmesi	kN/m ²
σ_{1ae}	Betonun sadece kiriş ağırlığı mevcut iken basınç emniyet gerilmesi	kN/m ²
σ'_{2ae}	Betonun sadece kiriş ağırlığı mevcut iken çekme emniyet gerilmesi	kN/m ²
σ_{1ge}	Bütün sabit yükler mevcut iken betonun basınç emniyet gerilmesi	kN/m ²
σ'_{2ge}	Bütün sabit yükler mevcut iken betonun çekme emniyet gerilmesi	kN/m ²
σ_{1pe}	Hareketli ve sabit yükler mevcut iken betonun basınç emniyet gerilmesi	kN/m ²
σ'_{2pe}	Hareketli ve sabit yükler mevcut iken betonun çekme emniyet gerilmesi	kN/m ²

σ_{cp0}	Yalnız öngerme sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki ilk beton gerilmesi	kN/m^2
$\Delta\sigma_{pc+s}$	Rötre ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı	kN/m^2
σ_{cp0+g}	Öngerme zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi	kN/m^2



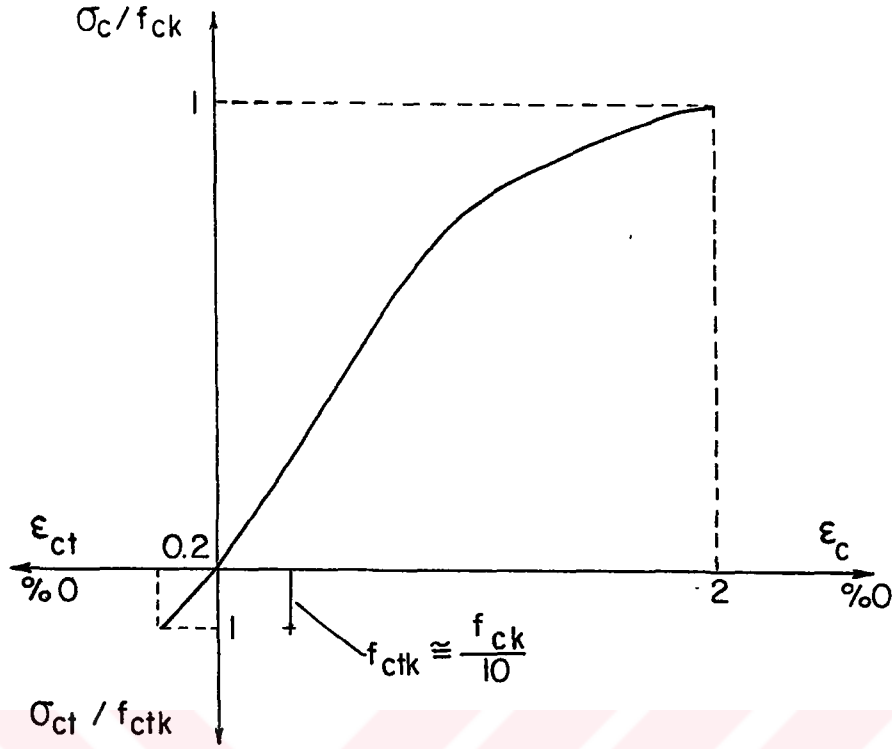
1. GİRİŞ

Bilindiği üzere beton birçok özelliği bakımından inşaat için elverişli bir malzemedir. Beton maliyet bakımından da ucuz bir malzemedir. Basınca karşı mukavemeti gayet iyidir. Yapılması, işçiliği büyük bir ihtisas istemez. Beton yapmak için gerekli olan malzeme agrega, su, çimento her yerde kolaylıkla ve ucuza temin olunabilir. Yangına karşı mukavemeti iyidir. Mimari arzulara uygun form kolaylıkla verilebildiği için modern inşaatlarda aranan bir malzeme olmuştur. Betonun ömrünün uzunluğu kargirde olduğu gibi tecrübeyle tam olarak tespit edilmemiş olmakla beraber beton mukavemetinin zamanla artma özelliği ve iyi yapılmış kompakt betonun, bir yüzyılı geçen bir tecrübe safhasında kendini iyi bir şekilde muhafaza edebilmesi, zamanın tesirlerine mukavim olduğunu göstermektedir. Beton yapıların monolitik bir karakter arzemesi sistemin stabilitesi bakımından müsbet rol oynamaktadır.

Betonun bu iyi özellikleri yanında betonun kusur olarak kaydedilebilecek olan özelliği çekme gerilmeleri altında mukavemetinin, basınç gerilmeleri altındaki mukavemetinden çok küçük olmasıdır.

Basit çekme altında betonun mukavemeti, basit basınç altındaki mukavemetinin $1/10 - 1/12$ 'si kadardır. Kırılma birim boy değişimleri ise yine Şekil 1.1'den görüleceği üzere basit basınç altında 0.002 ve basit çekme halinde yine bunun $1/10$ 'u kadar yani 0.0002'dir. Bu değerler kesit eğilme halinde basınç kenarında 0.003-0.0035 ve çekme kenarında yine bu değerlerin $1/10$ 'u mertebesinde 0.0003 kadardır.

Betonun bu mahsuru taşıyıcı bir elemanın kesitinde meydana gelecek çekme gerilmelerini alacak şekilde taşıyıcı sistemin çekme bölgelerini çelik çubuklarla donatmak suretiyle giderilmiş betonarme donan kompleks bir cisim elde edilmiştir. Betonla çeliğin aralarındaki bağlantı sebebiyle beraber çalıştığı bu kompleks cisimde çekme gerilmelerinin tümü donatı



Şekil 1.1.

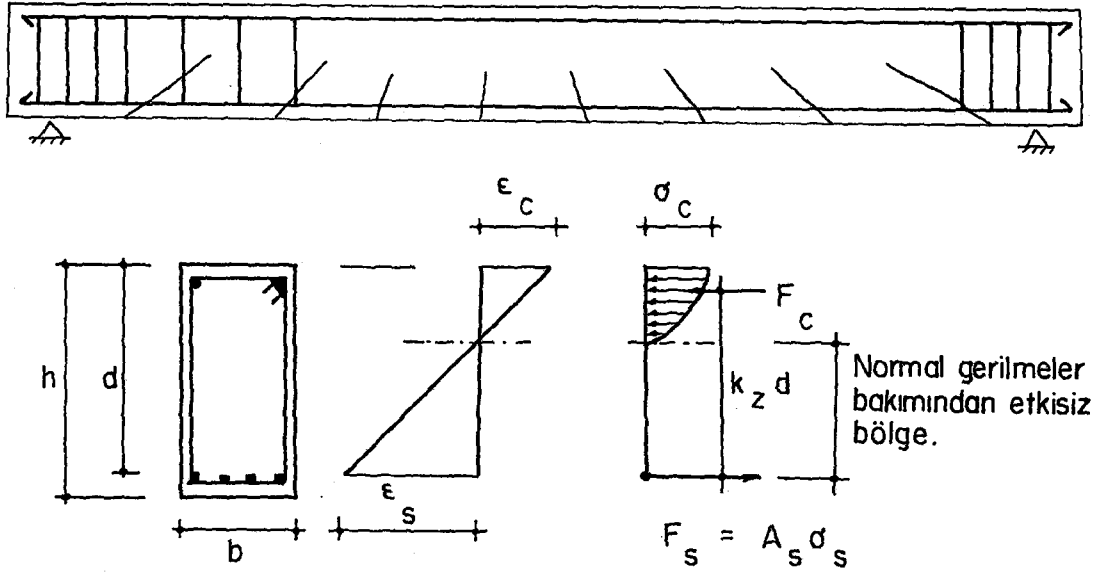
tarafından basınç gerilmelerin hepsi veya önemli bir kısmı beton tarafından alınmaktadır.

Betonarme bir taşıyıcı elemana misal olmak üzere Şekil 1.2'de basit mesnetli bir kiriş donatıları kesiti ve kesitindeki beton gerilme diyagramı ve donatıdaki çekme kuvveti ile gösterilmiş bulunmaktadır.

Böyle bir kiriş, büyük açıklıkları bir tarafa bırakılırsa kendi ağırlığı dahil, verilen bir yükü taşıyacak şekilde boyutlandırılabilir. Betonun çekme gerilmelerini taşıyamama mahsuru giderilmiştir.

Ancak aşağıdaki mahsurlar yine mevcut bulunmaktadır.

1. Betonun çekmede uzama kapasitesinin azlığı sebebi ile donatıda gerilmenin 65 N/mm^2 'yi geçtiği durumlarda betonda Şekil 1.2'de görülen çatlaklar oluşmaktadır. İşletme yükleri altında en düşük donatı gerilmesi 140 N/mm^2 (1400 kg/cm^2) dir.



Şekil 1.2.

2. Bu çatlaklar donatı gerilmesi 280 N/mm^2 (2800 kg/cm^2) yi aşınca donatı nervürlü de olsa çatlak genişlikleri kabul edilebilir sınırları aşmaktadır. Kısaca daha yüksek kaliteli donatı betonarme bir elemanda kullanılamamaktadır.

3. Betonarme bir kesitin Şekil 1.2'de işaretli kısmı normal gerilme olmamakta ve kısmen de olsa taşıyabilen faydalı yükü azaltıcı yönde etkimektedir. Bu bakımdan açıklık büyüdükçe betonarme kirişler kendi ağırlığı sebebiyle artık ekonomik olmamaktadırlar. Deprem etkileri de ağırlıkla beraber artmaktadır.

4. Çatlaklar kabul edilebilir sınırlar içinde olsalar bile, donatı korozyona uğrayabilmekte ve yapının ömrü azalmaktadır. Sızdırmazlık istenen yapılarda ise çatlaklar daha önemli bir mahsur teşkil etmektedir.

Betonarmenin bu mahsurlarının giderilmesi için Fransız mühendisi G.Freyssinet evvela betonun deformasyonlarının tam etüdünü yapmış 1933 yılında "Science et Industrie" mecmuasında neşrettiği "Idées et Vaies Nouvelles" adlı makalede betona öngerilme tatbiki fikrini ortaya atmış ve bu fikri düşündüğü hususi bir sistemde realize etmiştir.

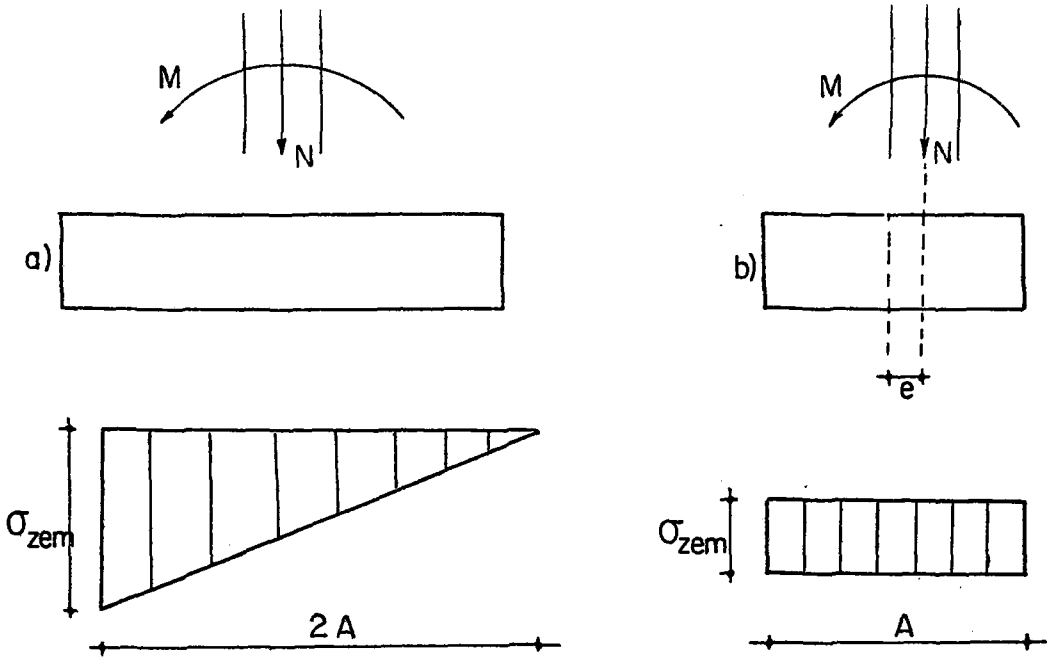
Şu halde betonun sağılan bu mahsurlarını gidermek için dış yüklerin çekme gerilmeleri doğuracağı bölgelerde betona önceden yapının beton ömrü boyunca daimi olarak kalmak üzere basınç gerilmeleri tatbik etmektir. Bu yapılan işleme öngerilme, bu suretle teşkil edilen yapıya da **öngerilmeli beton** denilebilir. (Bilge, 1982)

Öngerilmenin mucidi E.Freyssinet ise öngerilmeyi şöyle tarif etmektedir. Bir yapıya öngerilme vermek dış yüklerin tatbikinden evvel veya onunla aynı zamanda suni olarak daimi gerilmeler vermektir. Bu gerilmeler öyle olmalıdır ki dış yüklerden gelen gerilmelerle süperpoze edildiklerinde bulunan toplam gerilmeler her noktada ve gözönüne alınan bütün yük halleri için malzemenin dayanabileceği gerilme sınırları içinde kalsın.

Bu tariflerden anlaşıldığı üzere bir yapıya tatbik olunan gerilmelerin öngerilme sağlanabilmesi için bu gerilmelerin;

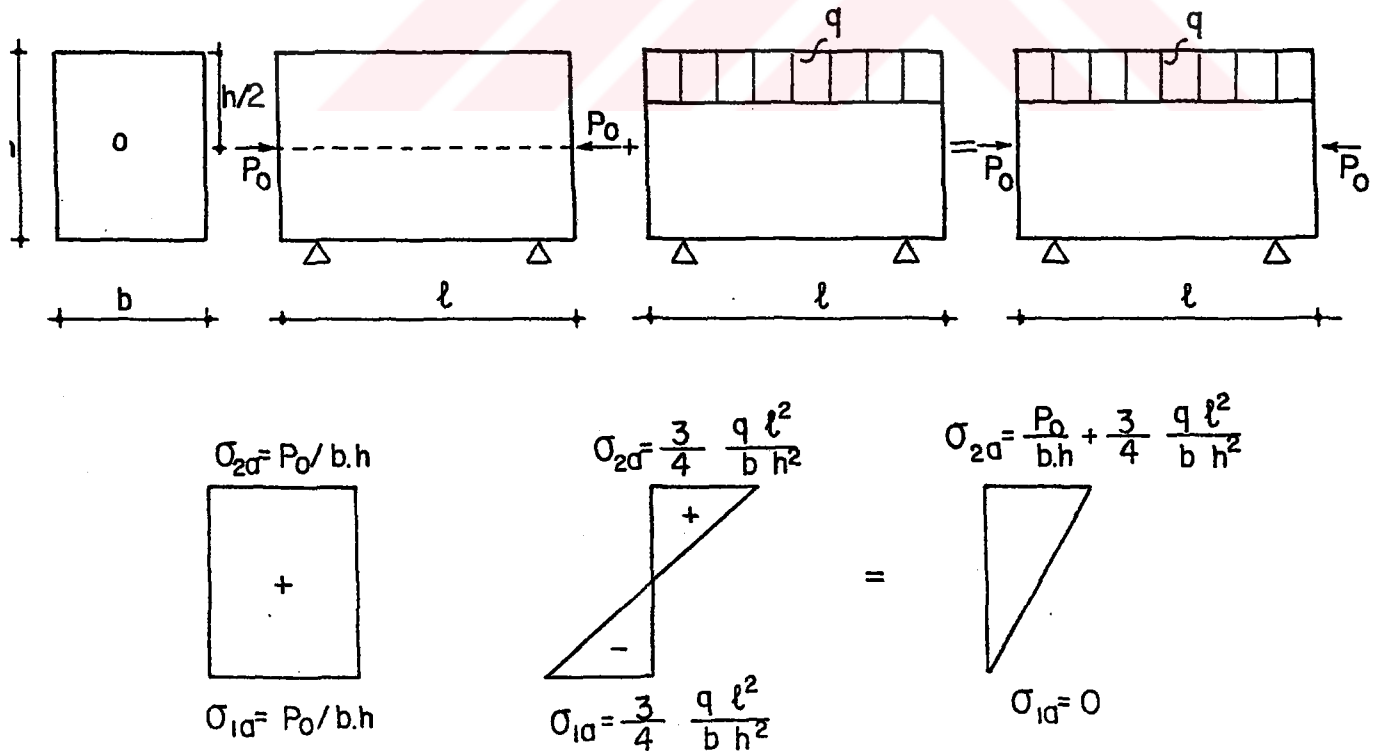
- Sun'i olarak verilmesi,
- Dış yüklerin tatbikinden evvel veya onunla birlikte verilmesi,
- Daimi olması gerekir.

Öngerilme yani taşıyıcı sistemlere taşıtılacak yükler haricinde bir takım dış kuvvetler uygulayarak kesitlerde gerilme yayılışını düzeltmek suretiyle sistem mukavemetini artırmak oldukça yeni bir tekniktir. Sistemde gerilme yayılışı üniforma ne kadar yaklaştırılabilirse yüklere mukavemet edebilecek kesit o kadar küçülür. Kesitteki gerilmelerin düzgünleştirmenin kesiti ne kadar küçülme imkânı verdiğini Şekil 1.3'deki basit temel problemi ile açıkça görmek mümkündür. Şekilde görülen her iki temelin derinlikleri maruz kaldığı dış yükleri ve net zemin emniyet gerilmeleri aynı olsun şu farkla ki Şekil 1.3.b'deki temelde N kuvveti $e=M/N$ kadar temel ekseninden kaçık etkidilsin. Bu durumda Şekil 1.3.a'daki temel genişliği $2A$ olduğu halde Şekil 1.3.b'deki temel genişliği A kadar olacaktır. Bu da Şekil 1.3.b'deki temel alanının Şekil 1.3.a'daki temel alanının yarısı olduğunu gösterir. Pratikte bunu temin etmenin yollarından biri de sisteme öngerilme uygulama olmaktadır. (Celasun, 1974)



Şekil 1.3.

Kirişe Merkezi Po Öngerilme Kuvveti Tatbik Edilsin



Şekil 1.4.

Şekil 1.4'de görüldüğü gibi öngerilmeden dolayı kirişin üst ve alt liflerinde basınç gerilmeleri meydana gelir. q üniform yayılı dış yükü tesir ederse bu liflerdeki gerilmeler;

$$\begin{array}{ll} \text{Üst lifte} & \sigma_{2a} = \frac{P_0}{b \cdot h} + \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \\ \text{Alt lifte} & \sigma_{1a} = \frac{P_0}{b \cdot h} - \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \end{array}$$

olur.

Betondaki gerilmenin çekme çıkmaması ve σ_{2a} basınç emniyet gerilmelerinin aşılmaması şartları yazılırsa,

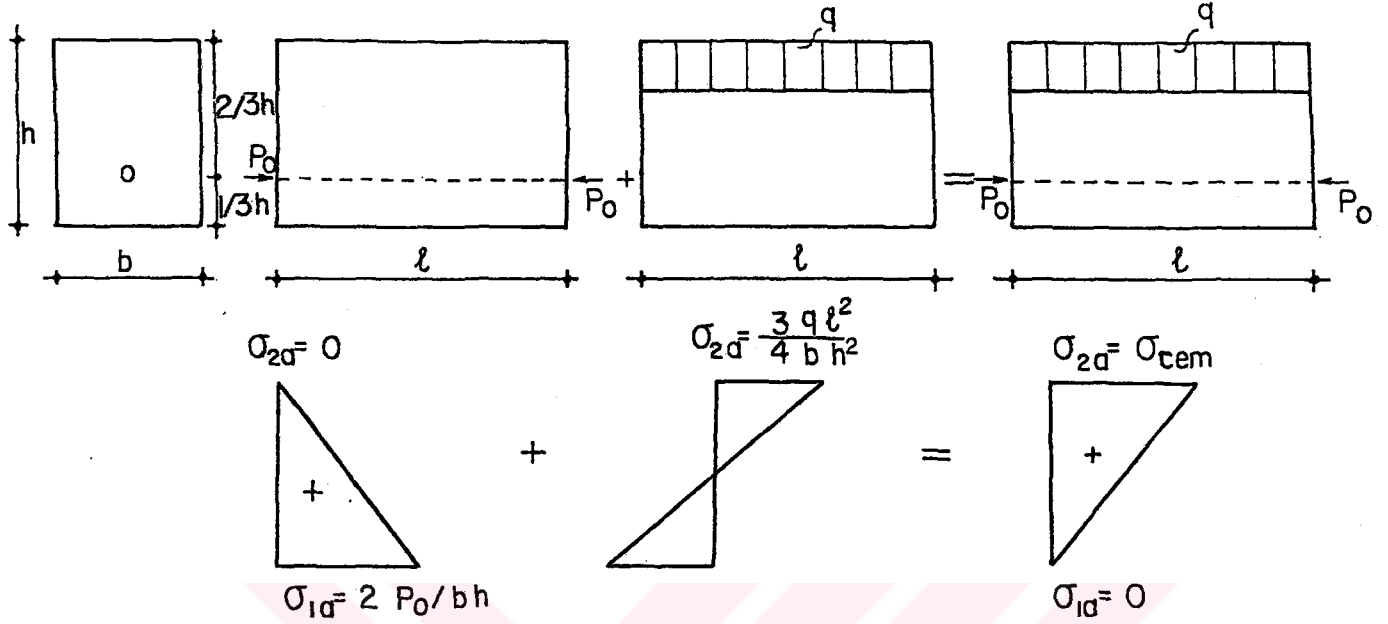
$$\frac{P_0}{b \cdot h} + \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \leq \sigma_{2a} \quad \frac{P_0}{b \cdot h} - \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \geq 0 \quad \text{bulunur.}$$

Bunlar eşitlik olarak yazılırsa,

$$P_0 = \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{h} \quad q = \frac{4}{3} \frac{b h^2}{2 \ell^2} \sigma_{2a}$$

Bu halde P_0 öngerme kuvveti ve taşıyabileceği q yayılı yükü bulunmuş olur.

Kiriş Eksantrik P_0 Öngerilme Kuvveti Tatbik Edilsin



Şekil 1.5.

Öngerilme kuvveti alt çekirdek noktasına tatbik edilirse üst ve alt liflerdeki gerilmeler

$$\sigma_{2a} = 0, \sigma_{1a} = 2P_0/bh \text{ olur.}$$

Dış yükten meydana gelen gerilmeler ise

$$\sigma_{1a} = \frac{3}{4} \frac{q\ell^2}{bh^2} \quad \sigma_{2a} = -\frac{3}{4} \frac{q\ell^2}{bh^2}$$

olur.

Öngerilme ve dış yük birlikte tesir ettiğinde gerilmeler,

$$\text{Üst lifte} \quad \sigma_{2a} = \frac{3}{4} \frac{q\ell^2}{bh^2}$$

$$\text{Alt lifte} \quad \sigma_{1a} = \frac{2P_0}{bh} - \frac{3}{4} \frac{q\ell^2}{bh^2}$$

Betondaki gerilmenin çekme çıkmaması ve σ_{ce} basınç emniyet gerilmesinin aşılmaması

için,

$$2 \frac{P_0}{b \cdot h} - \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \geq 0 \quad \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{b h^2} \leq \sigma_{2d}$$

olmalıdır. Bunlar eşitlik olarak alınırsa,

$$P_0 = \frac{3}{4} \frac{q \ell^2}{h} \quad q = \frac{4}{3} \frac{b h^2}{\ell^2} \sigma_{2d} \quad \text{bulunur.}$$

Genel olarak eksantriklik çekme bölgesine doğru artırılarak kirişin taşıyabileceği yük maksimum bir değere çıkarılır.

1.1. Öngerilmeli Betonun Betonarme İle Mukayesesi ve Betonarmeye Nazaran Üstünlükleri

Betonarmede donatı kesitin tamamlayıcı bir parçasıdır. Beton çatladığı anda beton yerine geçerek çekme gerilmesinin tümünü almaktadır. Gerilme durumuna göre birbirinden farklı çalışma safhaları arz etmektedir. İlk önce beton ve donatı elastik olarak birlikte gerilme alırlar. Tesir artınca beton yine çekme gerilmeleri almakla beraber akma sınırına gelerek sabit bir kuvvet alır, donatı ise elastik safhada kuvvet almaya devam eder. Tesirin daha büyük değerleri için beton çekme bölgesinde çatlar ve çekme kuvvetinin tümünü yalnız başına donatı alır.

Betonarmede beton bir kere çatladıktan sonra artık bu çalışma durumu ve çatlaklık aynen kalmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere betonarmede donatı pasif bir rol oynamaktadır. Betonun çalışabilme durumuna göre ve dış tesirin değeri arttıkça kesitte vazife almaktadır.

Öngerilmeli betonda ise çelik artık bir donatı değildir. Çelik betona öngerilme kuvvetini tatbik eden bir vasıtaadır. Nitekim donatısız öngerilme verme metodunda çeliğin yerini sabit verenler olmaktadır. Öngerilmeli betonda çalışma durumu tesirin muhtelif değerleri için aynı

karakterde olup, değişimi sürekli, bir çatlama veya süreksizlik yoktur. Diğer taraftan çelikteki kuvvet pratik olarak sabittir. Yük ile çok az değişir. Öngerilmeli betonda çatlak tamamen bertaraf edilmiştir. Bazen aşırı yüklemelerde çatlak meydana gelse dahi yükün normal değere inmesi halinde çatlak azalmakta ve çatlamadan önceki gerilme durumuna gelebilmektedir. Bundan dolayı öngerilmeli betonda çeliğin rolü aktiftir.

Buna göre öngerilmeli betonun üstünlükleri şöyle sıralanabilir.

- Çatlama tamamen ortadan kaldırılabilmekte ve su haznesi gibi çatlama hiç arzu edilmeyen yapılar emniyetle yapılabilir.
- Bütün yükleme durumları için malzemenin tamamıyla elastik olarak çalışması sağlanabilmektedir.
- Kesitin tamamıyla faydalanabilmesi sebebiyle malzemeden maksimum randıman alınarak kesit boyutları kltlebilmekte ve ekonomi temin edilebilmektedir.
- ngerilme kuvvetini veren kablonun mesnetlerde yukarı doğru kıvrılması sayesinde kirişte kayma gerilmeleri de çok azaltılabilmekte ve bu sayede kiriş gövdesi inceltilerek zati yk hafifletilebilmekte ve ekonomi sağlanabilmektedir.
- Ayrı ayrı elemanların öngerilme yardımıyla birleştirme imkânı sayesinde büyük miktarda prefabrikasyondan faydalanabilmektedir (Bilge, 1982).

2. MALZEME

2.1. Beton

Önerilmeli betonda kullanılabilecek çimento agregası, su ve katkı maddeleri için TS 3233'de verilen kayıtlara uyulmalıdır.

2.1.1. Çimento

Genel olarak TS 19 standardına uygun normal portland tipi çimento ve gerekli durumlarda çabuk sertleşen portland tipi çimento kullanılmalıdır.

2.1.2. Su-agrega

Su TS 500'e uygun olmalıdır. Ancak önerilmeli beton için deniz suyu nitratlı sular kullanılmamalıdır.

Agrega ise TS 706'ya uygun olmalıdır.

2.1.3. Katkı maddeleri

Öngerilmeli beton yapımında katkı maddelerinin kullanımından kaçınılmalıdır. Özellikle kalsiyum klorürlü katkı maddeleri öngerilmeli betonda kesinlikle kullanılmamalıdır. Diğer katkı maddeleri ancak deneysel karışımlarla uygunlukları kanıtlanırsa kullanılmalıdır.

Öngerilmeli elemanlarda kullanılan betonun yüksek dayanımlı olması gerekir. Buna göre öngerilmeli betonun TS 3233'e göre en az BS 25 sınıfında olması istenmektedir. Daha iyisi bu sınıfın BS 30 olarak tespitidir. Bu betonların ve daha kaliteli beton sınıflarının f_{ck} karakteristik silindir ve eşdeğer küp basınç dayanımları, f_{ctk} karakteristik eksenel çekme dayanımları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1.

Beton sınıfı	Karakteristik silindir dayanımı f_{ck} N/mm ² (kgf/cm ²)	Eşdeğer küp dayanımı N/mm ² (kgf/cm ²)	Karakteristik eksenel çekme dayanımı f_{ctk} N/mm ² (kgf/cm ²)
BS 25	25 (250)	30 (300)	1.7 (17)
BS 30	30 (300)	35 (350)	1.9 (19)
BS 35	35 (350)	40 (400)	2.1 (21)
BS 40	40 (400)	45 (450)	2.2 (22)
BS 45	45 (450)	50 (500)	2.3 (23)
BS 50	50 (500)	55 (550)	2.5 (25)
BS 55	55 (550)	60 (600)	2.6 (26)

f_{ctk} ile f_{ck} arasında

$$f_{ctk} = 1.1 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{N/mm}^2$$

bağıntısı vardır.

Betonun j günlük iken E_{cj} elastisite modülü f_{ckj} j günlük beton karakteristik basınç dayanımı olmak üzere;

$$E_{cj} = 10270 \sqrt{f_{ckj}} + 140000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ N/mm}^2$$

olarak hesaplanabilmektedir.

Kısa süreli işletme yükleri için beton sınıflarının elastisite modülü TS 3233'de Çizelge 5'de aşağıdaki gibi verilmiş bulunmaktadır.

Beton Sınıfı	28 günlük betonun elastisite modülü N/mm ² (kgf/cm ²)
BS 25	30300 (303000)
BS 30	31800 (318000)
BS 35	33200 (332000)
BS 40	34500 (345000)
BS 45	35800 (358000)
BS 50	37000 (370000)

Öngerilmeli betonlar için ν Poisson oranı ve G_{cj} kayma modülü yeteri yaklaşıkla,

$$\nu=0.2, G_{cj}=0.40E_{cj}$$

olarak alınabilir.

2.2. Öngerme Çeliği

Öngerilmeli betonda öngerilme vermek için kullanılan donatı yüksek kaliteli çelik olmak zorundadır. Çubuğa öngerilme verip donatı uçları ankre edildikten sonra rötre olayı devam edecek ve yeni betonun sünenmesi ve çeliğin rölaksasyonu olayı başlayacaktır.

Rötre, taze betonun kürüne çeyre şartlarına, betondaki çimento/su oranına tabidir. Ortalama 0.0002 olarak alınabilir.

Sünme kuvveti tatbik edildiği andaki beton yaşına ve yükün uzun süreli olarak etki süresine tabidir; ortalama bir değer olarak uzun süreli basınç gerilmesi

$$2\sigma_{cem}/E_c$$

değeri alınabilir.

$\sigma_{cem} = 12 \text{ N/mm}^2$ (120 kg/cm^2), $E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$ (300000 kg/cm^2) ile rötre, sönmeden dolayı birim boy kısalması,

$$\epsilon_{s,r,e} = (2 \times 10^{-4} + (2.12/3 \times 10^{-4})) = 0.001$$

olarak bulunur.

Bu kısalma çelikte röleksasyonu katmadan $\Delta\sigma = E_{s,r,c} = 2.1 \times 10^6 \times 1.10^{-3} = 210 \text{ N/mm}^2$ (2100 kg/cm^2)'lik bir gerilme düşmesine sebep olacaktır. Eğer çelik 200 N/mm^2 (2000 kg/cm^2)'lik bir gerilme ile gerilmiş olsaydı rötre ve sönmeden dolayı öngerilme tamamen kaybolmuş olacaktı.

Rötre ve sönmeden başka donatı gerilirken donatı ile kılıf arasındaki sürtünmede önemli gerilme kayıplarına sebep olur.

Bütün bu kayıplardan sonra elde maksada uygun bir öngerilme miktarı kalabilmesi için donatının minimum akma limitinin 900 N/mm^2 (9000 kg/cm^2) ve daha yüksek olması gerekir.

Öngerilme donatısı TS 3233'e göre tel toron çubuk ve bunların her birinden teşkil edilen grupların oluşturduğu kablo şeklinde olabilir.

2.2.1. Öngerme telleri

Çapları 1.5 mm'den 7 mm'ye kadar olan öngerme telleri kaplamasız, gerilmeden arınmış orantılılık sınırları yükseltilmiş tellerdir. Çapı çok ufak olanların dışındaki teller yan yüzleri nervürlü veya profilli olarak imal edilmektedirler.

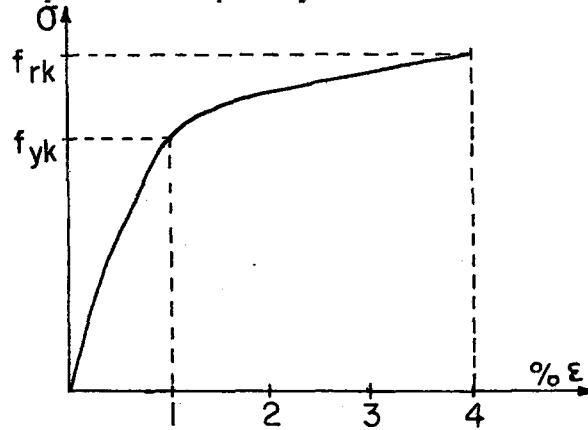
Mekanik özellikleri TS 3233'e göre aşağıdaki Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2.

Anma çapı mm	Minimum kopma (çekme) dayanı- mı N/mm^2 (kgf/cm^2)	Minimum Akma limiti %1 birim uzama karşılığı gerilme	Kopmada birim uzama % (Minimum)	Elastisite modülü N/mm^2 (kgf/cm^2)
1.5 ila <3.0	1800 (18000)	Kopma dayanımının %80	4	(2×10^5)
>3 ila <4.0	1700 (17000)			
>4.0 <12	1500 (15000)			(2×10^5)

Çap büyüdükçe f_{rk} minimum kopma dayanımları $1800 N/mm^2$ 'den $1500 N/mm^2$ düşmektedir.

Minimum akma limitleri Şekil 2.1'de görüldüğü gibi (σ , ϵ) diyagramında $\epsilon=0.01$ uzamaya tekabül eden gerilme ise kopma dayanımının 0.80'i kadardır.



Şekil 2.1.

2.2.2. Öngerme toronu

Öngerme toronları iki veya daha fazla telin helis şeklinde üst üste sarılmaları ile elde edilen germe donatılarıdır. 7 telli toronlarda bir telin çevresine konulmuş 6 tel, iç tel üzerine helis şeklinde sarılmışlardır. Sargı işlemi fabrikalarda yapılır ve bu esnada teller kalıcı deformasyona uğrarlar.

Tel çapları toron olarak mekanik özellikleri TS 3233'e göre Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3.

Tel çapı mm	Tel sayısı	Minimum kopma dayanımı N/mm^2 (kgf/cm^2)	Minimum akma limiti= $\%1$ Birim uzama karşılığı gerilme	Kopmada birim uzama $\%$ (Min.)	Elastisite modülü N/mm^2 (kgf/cm^2)
2-3	2 veya 3	1600 (16000)	Kopma	3.5	48×10^5
3-4	7	1600 (16000)	Dayanımın $\%85$		(48×10^6)

Minimum kopma dayanımları $1600 N/mm^2$ ve 0.01 birim uzamaya tekabül eden minimum akma limitleri kopma dayanımlarının 0.85 kadardır.

2.2.3. Öngerme çubuğu

Öngerme çubukları çapları 7 ile 32 mm arasında değişen, sıcaklıkta çekilmiş özel alaşımlı tek parçadan oluşan çubuklardır. Minimum kopma dayanımları $1000 N/mm^2$ ve 0.01 birim uzamaya tekabül eden akma limitleri $800 N/mm^2$ kadardır.

2.2.4. Öngerme kablosu

Öngerme kablosu tel veya toron veya çubuk gruplarından oluşan germe elemanlarıdır. Mekanik özellikleri bu bakımdan değişiktir. İmal eden firmaların garanti belgelerinde gerekli özellikler belirtilmiştir.

2.3. Normal Çelik

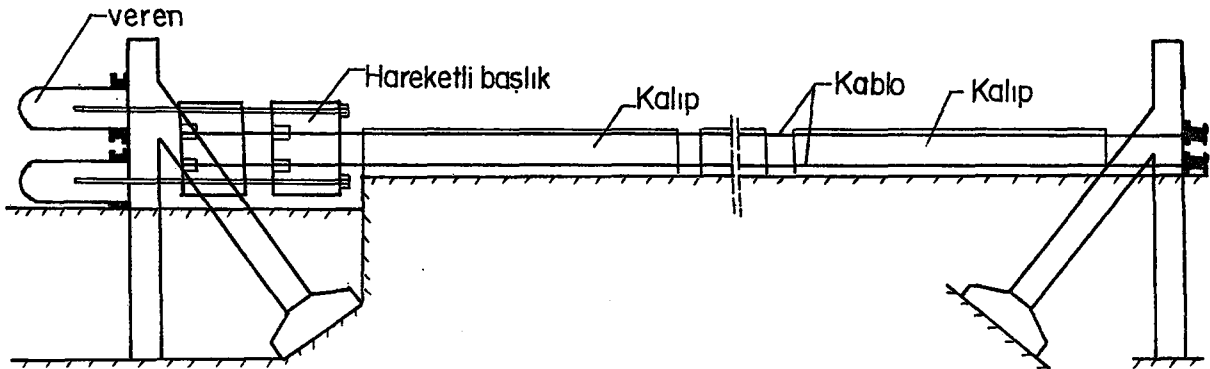
Öngerilmeli betonda, kesitlerde işletme yükleri altında çatlamaya sebep olmayacak mertebede çekme gerilmesine müsaade edilen ve "sınırlı gerilme" denen durumlarda kesitlerde öngerilmeli çelikle beraber betonarmedeki BCIII sınıfı çelik te kullanılır (Özden, 1988).

3. ÖNGERİLME YERME METODLARI

Yapının özel durumuna göre öngerme donatısı ya beton dökülmeden önce veya beton dökülüp sertleştikten sonra gerilir. TS 3233'de ön çekme ve ard çekme olarak adlandırılırlar.

3.1. Ön Çekme Metodu

Daha ziyade pırefabrike elemanlarda kullanılan ön çekme metodunda çok ince veya aderansı yükseltilmiş tellerden oluşan çekme donatısı "çekme tezgahı" denen yerde projesine uygun olarak bir uçlarından sabit bir ayağa diğır uçlarından yatay yönde hareket edebilen bir başlığa bağlanır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1.

Sonra hareketli başlık bu taraftaki sabit ayağa dayanan verenlerle çekilme suretiyle donatılar istenildiği kadar gerilir.

Sonra elemanın kalıpları peşpeşe aralarında belirli bir aralık kalacak şekilde dizilir ve beton dökülür. Tezgahı rantabil kullanabilmek için buhar kürü veya benzeri bir ısıtma metodu ile betonun sertleşmesi hızlandırılabilir. Beton yeterli mukavemeti alınca verenler yavaşça gevşetilir ve elemanlar dışındaki donatı kısımlarında gerilme, istenilen hızda "sıfır" a getirilir.

Çekme esnasında küçülen donatı çapı veren gevşetilince tekrar büyür ve beton dışında kama gibi şişerek aderansı artırır.

Bu olay çok ince tellerde eleman uçlarında aderansı temine yeterlidir. Nispeten kalın olan tellerde bu olayla beraber aderansı artırıcı nervür veya profil veya çeşitli formlarla yeterli aderans sağlanır.

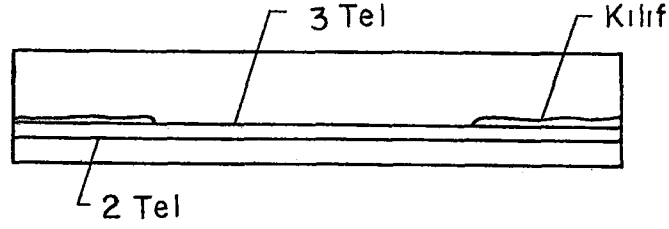
Oldukça uzun olan germe tezgahında germe işlemi sırasında donatıların istenilen yerlerde kalmalarını temini için elemanların ara yerlerinde yeterli sayıda delikli donatı tespit plakaları kullanılır.

Donatının tabana paralel olması halinde kirişin bütün uzunluğunca sabit

$$M_p = -P.e$$

$$N = P \text{ (Basınç)}$$

moment ve normal kuvvete maruzdur. Dış yükten gelen momentler eleman uçlarına doğru genel olarak sıfıra gitmektedir. Bu durumda kiriş uçlarında daimi büyük negatif momentlerin mevcudiyeti sakıncalıdır. Bu mahsuru gidermek için tellerden bazılarının uçlara yakın bölgelerine elektrik tellerinkine benzer plastik kılıflar takılarak aderansın ortaya yakın yerlerde başlaması sağlanabilir. Bu durumda çekilmiş 5 telden 3'ünün ucuna kılıf takılarak ortadaki M_p momentinin sadece 2/5 uçlara etkimesi temin edilebilir Şekil 3.2.



Şekil 3.2.

Ön çekme metodunun uygulanabilmesi için donatının doğru eksenli ve elemanın bir başından diğer başına kadar uzanması gerekir. Metodun iyi tarafı ise düzgün bir aderans temin edilebilmesidir. (Özden,1988)

3.1.1. Gerede Ankara otopolu Buğrular köprüsünde önçekme metodunun uygulanması

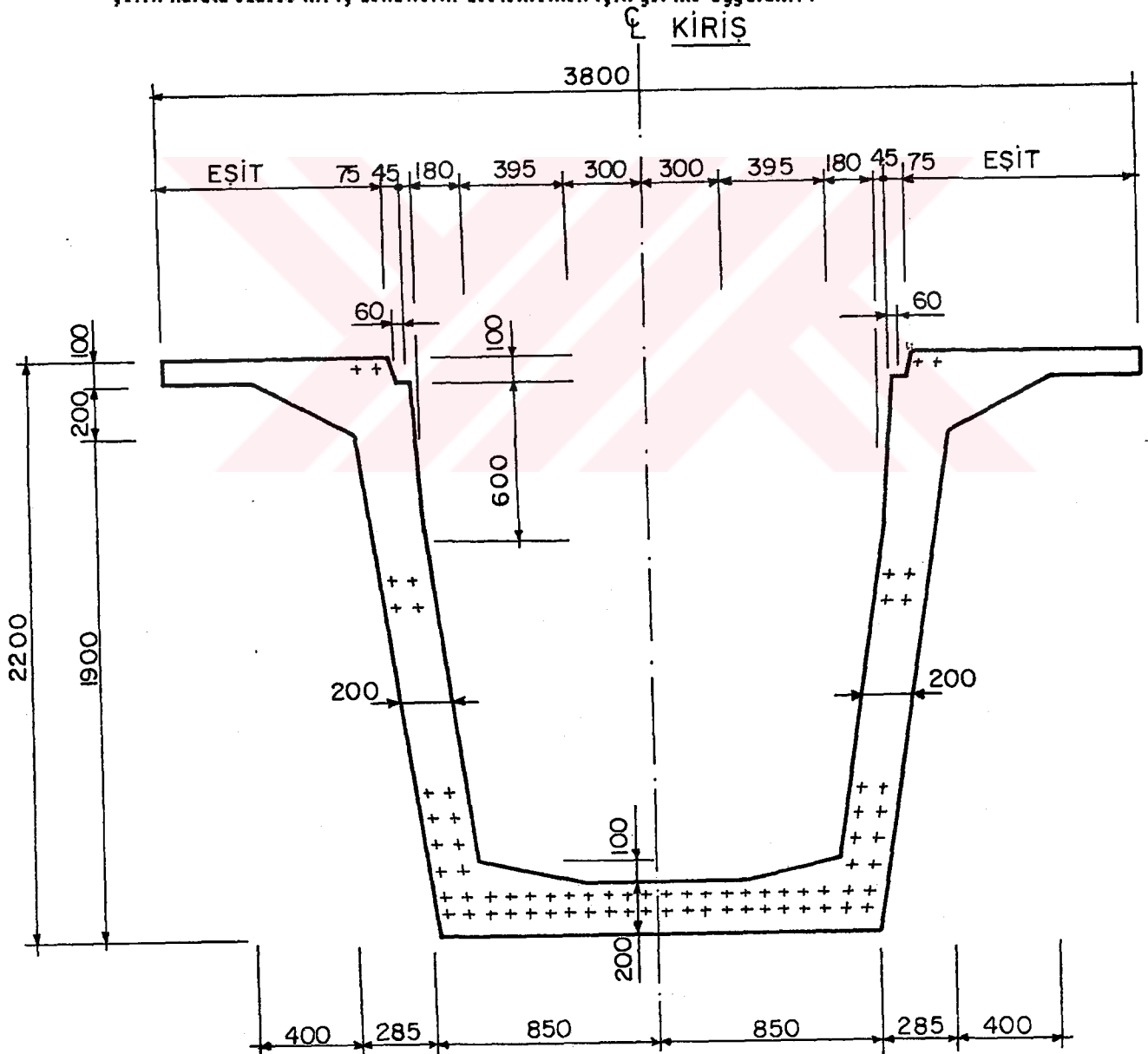
Kalıplardaki çelik halatların serimi operatörler tarafından besleyici mekanizmaya yerleştirilmiş çelik halatı olarak sabit başlık içinden verdikten sonra her bir kiriş kalıbı ucundan piston hareketli başına kadar geçirirler.

Ankraj kelepçeleri piston hareketli başında 5-10 cm'lik bir uzantı bırakarak sabitlenir. Elektrik kesim makinası ile istenen uzunlukta kesildikten sonra çelik halatların basınç değişimleri için çelik halatların serilmesi anında aderans önleyici plastik kılıflar proje boylarına göre yerleştirilir.

Piston hareketli ucunda Şekil 3.3'de kesiti verilen kirişin alt kısmında bulunan 68 adet çelik halat 34 cm piston mesafeli hidrolik krikon ile gerilerek geriye dönmesini engelleyen somunlar krikonun piston miline sabitlenir. Bundan amaç gerilme sırasındaki boşlukları

almaktır.

Pistin sabit başında kirişin üst kısmında yer alan 5.2 mm çaplı çelik 4 adet halat kirişin alt kısmında bulunan halatlarla aynı anda gerilir. 15.2 mm çapında 68 adet çelik halatın her birine ilk olarak 200 bar değerinde öngerilme basıncı uygulanır. Bu ilk germe operasyonu çelik halatlardaki defleksiyonu ve kiriş donatısının yerleşimi esnasındaki kazaları önlemek amacıyla yalnız son germe yükünün %50'sinde yapılır. Kirişin üst kısmındayear alan 4.8 mm çapındaki 4 çelik halata sadece kiriş donatısını desteklemek için germe uygulanır.

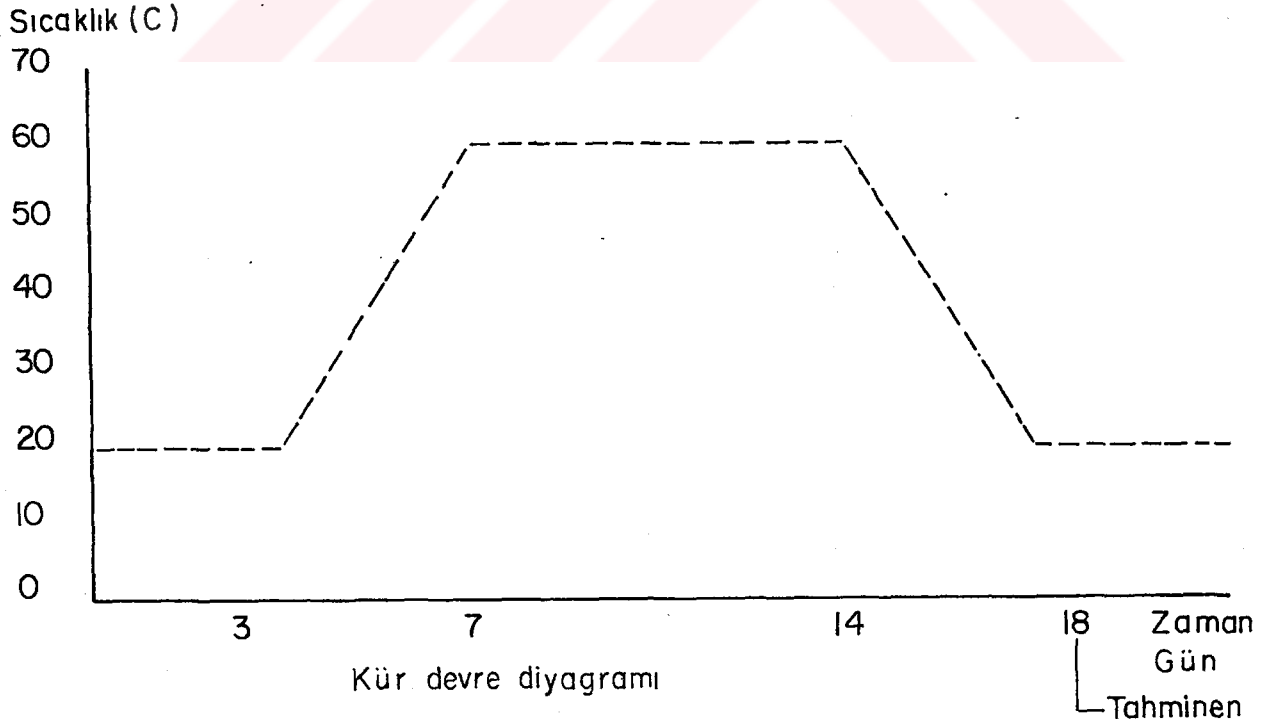


Şekil 3.3

Son germe işleminin yapılmasına sabit başlık bloğunun alt bölümünde yer alan 64 adet çelik halattan başlanır. Son germe işleminde öncelikle sabit başlık bloğunun alt merkezindeki halatlardan başlanarak alt merkezinden yukarıya doğru ve daha sonra simetrik olarak sağ ve sol istikametten en dıştaki çelik halatlara doğru sırasıyla son germe sağlanacaktır. Alt bölümdeki 64 adet halatın son germesi tamamlandıktan sonra üst bölümde yer alan 4 adet halata simetrik olarak son germe uygulanır.

Beton dökümü bir kenardan başlar ve kalıp altı iç kalıp tabanına kadar uygun bir şekilde doldurulur. Böylece beton dökümü kirişin her iki kenar yüzeyi için değişken döküm işlemiyle sonuna kadar devam eder. Yan yüzeylerin dökümü tabakalar halinde ve taban ile ilgili kısmın yan yüzey dökümü 40-60 dakikadan fazla olmayacak şekilde dökülmelidir.

Bütün kiriş boyunca ısı dağılımını elde etmek için uzun kür süresi seçilmiştir. Bunun amacı farklı ısılardan dolayı mukavemet kaybını mikro çatlakları ve diğer uygunsuzlukları önlemektir. (Kavasoğlu, 1991)



Şekil 3.4.

3.2. Ard Çekme Metodu

Çelik çubukların germe işi elemanın betonlanıp yeterli bir mukavemet kazanmasından sonra yapılır. Bunun için beton elemanın içinde çelik tellerin geçirilmesi tasarlanan hat boyunca delikler bırakılır. Bu delik bırakma işi ya kılıf denilen özel aderanslı borularla veya diğer bazı şekillerde olur. Bu metotta kablonun yürümesi istenildiği şekilde ayarlanabilir.

Kılıfla beton arasındaki aderans kılıfın özel yapısı dolayısıyla oldukça iyidir. Kılıfla donatı arasındaki aderans özel çimento harcı enjeksiyonuyla oldukça sağlanır. Çelik teller gerildikten sonra kılıfla donatı arasında kalan boşluklara enjeksiyon harcı pompalanır. Çelik tellerin blokajı harç sertleşip yeterli mukavemet kazandıktan sonra yapılır. Bu suretle öngerilme çubuk veya telleri ile betonun beraber çalışması temin edilmiş olur.

Bu metotta germe esnasında da istinat eleman yine betonun kendisi olduğundan diğerlerine nisbetle ayrıca bir üstünlük arzeder, keza çok büyük açıklıklar halinde kabloların tamamının kirişin bir başından diğer başına kadar uzatılması gerekmiyebilir. Bu metotta bunu da temin etmek mümkündür.

3.2.1. Ard çekme metodunun, Aralık Sederek Azerbeycan yolu Aras karayolu köprüsünde uygulanması

Aras karayolu köprüsünde ard çekme yöntemlerinden YSL germe yöntemi uygulanmaktadır.

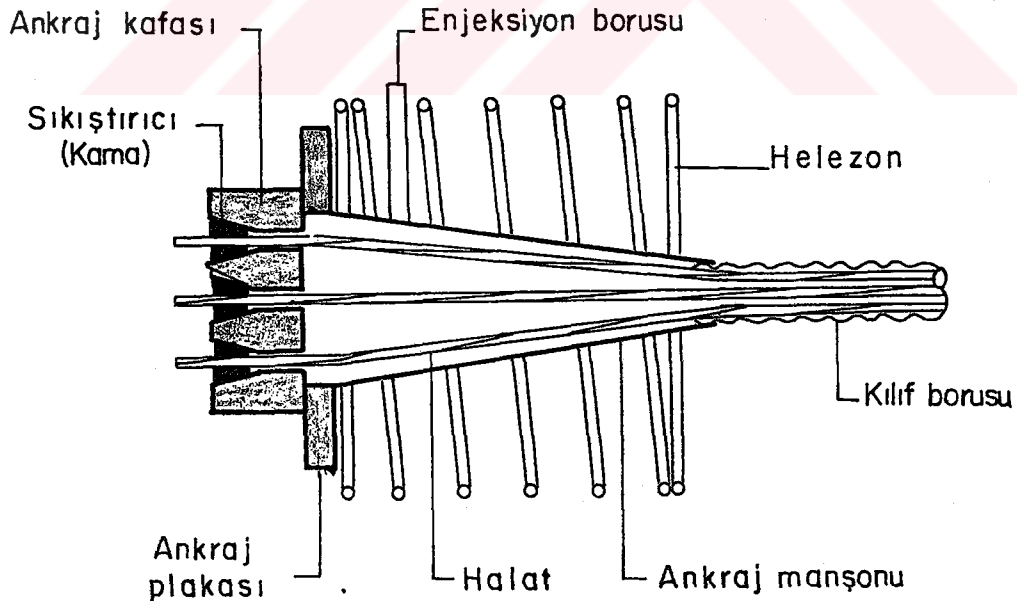
YSL germe yöntemi adıyla tanınan losinger öngerme sistemi 25 yılı aşkın bir zamandan beri tüm dünyada köprü inşaatlarında yüksek yapılarda, yeraltı yapıları inşaatında toprak kaya ankrajında uygulanmaktadır.

Çekme elemanı olarak halat kullanan ilk sistemlerdendir ve uluslararası öngerme birliğinin (FIP) germe sisteminin çözüm ve kullanımı için önerilerinin bütün bölümlerine uygunluk gösterir.

YSL germe yönteminin germe elemanları yüksek kopma mukavemetli halat demetlerinden oluşur. Halat sayısının ve gerekirse halat çaplarının ve çelik niteliğinin varyasyonlarıyla standart ünitelerde 160 ila 16000 KN arasında kopma mukavemetine sahip kablo üniteleri olarak büyük çeşitlilik elde etmek olanaklıdır. Özel uygulamalar için daha da büyük kablolar yapılabilmektedir.

Halatlar germe işleminden sonra germe kuvvetinin yapıya aktarılmasını sağlayan bir ankrajın içinde kamalarıdır.

YSL germe yönteminin esas E tipi germe ankrajıdır. Bu ankraj genel olarak konik delikli silindirik bir ankraj kafası sıkıştırıcılar (kamalar) ankraj manşonu ve helezonlarla birlikte bir ankraj plakasından oluşur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5.

Bir kablonun bütün halatları aynı anda gerilir. Ama her halat ankraj kafasındaki konik bir çukurun içerisine kamalar aracılığı ile teker teker oturtulur. Kamaların sürekliliği kamalarla halatlar arasındaki sürekli temas yoluyla sağlanır. Pres kuvvetinin boşaltılması ile halatlar düzgün bir biçimde konik çukurların içine çekilirler. Böylece bütün halatlar için aynı büyüklükte bir kama oturması doğar.

VSL germe yönteminin ayırtedici özelliklerinin başında sıkıştırıcıların özel olarak kamalanması gelmektedir. Diğer yöntemlerin aksine sıkıştırıcıların kamalanmasında hidrolik ve mekanik kamalama aygıtı gerekmemektedir.

Germe makinası küçük kablo ünitelerinde elle büyük ünitelerde ise bir kreynden ya da halatlarla donatılmış yardımcı bir iskeleden yararlanır.

Germe işleminde ise germe makinası çift etki merkezli yüksek basınçlı bir hidrolik pompa tarafından beslenir. Halatlar germe işleminin başlangıcında çekme başlığına tespit edilir. Manometre basıncı ve ölçülen kablo uzaması germe çizelgesine geçirilir.

Makinanın pistonu sonuna kadar dışarı çıkınca ya da istenen kuvvete ulaşılır ulaşılmaz pres basıncı boşaltılır, halatlar düzgün bir biçimde ankraj kafasına kamalanırlar. Kablonun dolgusu germeden hemen sonra mümkün olduğunca hızla yapılır. VSL mikserleri tek bir ünite yardımıyla dolgu harcını hazırlarlar.

Aletlere takılan pompalar dakikada 6 ila 10 m³ lük bir akma hızını temin etmektedirler. Çekme elemanı olarak halatların kullanılması dolgu işleminde özellikle elverişli bir etki oluşturur. Halatın formu sayesinde enjeksiyon harcının içeri akması, ara boşlukların doldurulması önemli derecede kolaylaşır. Halatlar bu işlemlerden sonra ankrajlanıp tespit plakaları yerleştirilir. (V.S.L. Öngerme, 1984)

4. ÖNGERİLMELİ BETON TAŞIYICI ELEMAN VE SİSTEMLERİN HESAP ESASLARI

4.1. Limit Durumları

Öngerilmeli beton taşıyıcı eleman ve sistemlerinde betonarmede olduğu gibi fonksiyonlarını yapmaya engel olabilecek limit durumlara, düşmeye karşı emniyete haiz olacak şekilde boyutlandırılmaları gerekir. Burada inşa ve işletme masraflarının mümkün olduğu kadar az olması insan hayatının önemi gibi faktörler de gözönüne alınmalıdır.

Limit durumları betonarmede olduğu gibi;

- a) Eleman ve sistemin taşıma gücünü sonsuza erdiren kesin limit durumları,
- b) Normal kullanmaya imkân vermeyen veya yapının ömrünü kısaltan kullanım limit durumları, olarak iki sınıfa ayrılırlar.

Ancak öngerilmeli beton sistemlerde kullanım limit durumları betonarmeye nazaran çok daha önemlidir. Bunun başlıca sebepleri:

- a) Öngerme donatısının normal donatıya göre çok daha kolayca korezyona uğraması,
- b) Basit mesnetli bir kirişte bile kullanım yükleri altında kesitin değişken gerilmelere maruz kalması olarak belirtilebilir.

Basit mesnetli ikinci sınıf bir kirişte orta kesitte;

- a) Yalnız öngerilme varken,
 - b) Kullanım yükleri altında,
- gerilme diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Bu kabuller yaklaşıktır. Gerilmeler, kullanılan malzemenin mukavemetinin fonksiyonu olarak belirli bir limitten daha aşağı olduğu takdirde ancak kabule şayandır. Gerilmeler bu limitin üstüne çıktıkça bu faraziyeler artık doğru ve kabule şayan olmaktan uzaklaşırlar. Bu sebeptedir ki, öngerilmeli beton bir elemanda elastik hesap yapmak yük ve mukavemet bakımından normal şartlar altında, bu elemandaki gerilme halini kabaca değerlendirmekten ileri geçemez.

İnşaatı yapan mühendis için esas gaye çatlama ve kırılma gibi yapıyı hizmet dışı yapan olaylara karşı yapının emniyetle olmasıdır. Yani öyle bir emniyet kataayısı seçilecektir ki, malzemenin mukavemet azalması gerilme veya yüklerin artması gibi normal şartlardan ayrılma halinde dahi bahis konusu olayların meydana gelme tehlikesi belirmesin.

İşte bu tehlikeli olayların vukuunun yaklaşması halinde elastik hesapta kabul edilen yukarıda bahsedilen iki kabul özellikle ikincisi (Deformasyonların gerilmelerle orantılı olması) artık doğru değildir. Bu sebeptedir ki, elastik hesap o yapı elemanındaki ve yapıdaki emniyet derecesi hakkında kesin bir fikir vermemektedir.

Emniyet derecesi hakkında kesin bir fikir vermediği için faydasız gibi görünen elastik hesap, hakikatte çok lüzumlu bir rehber vazifesi görmektedir.

Öngerilmeli elemanlar elasto-plastik formüllerle elastik hesaba nazaran daha müsait olarak boyutlandırılabilir. Ancak bu halde bile elastik hesap yukarıda bahsedilen şekilde boyutlandırılmış elemanların, özellikle deformasyonların büyüklüğü ve rezervbilitesi bakımından muhtemel çalışmasını iyi bir yaklaşımla tayine yaramaktadır. (Bilge,1982)

Betonun basınç altında kırılmasına göre belirli bir emniyetle boyutlandırma bakımından elastik hesap bir mana ifade eder görünmemekle beraber çatlama emniyet bakımından, bazı düzeltmelerden faydalanmak şartıyla elastik hesap lüzumlu ve yapılmalıdır. Kayma gerilmelerin değerlendirilmesi bakımından da elastik hesap lüzumlu görülebilir.

4.3. Öngerilmeli Taşıyıcı Sistem Sınıfları

Öngerilmeli taşıyıcı elemanlar verilen öngerilmenin mertebesine göre;

- a) Tam öngerilmeli elemanlar veya 1. sınıf elemanlar,
- b) Betonda çatlama olmayacak kadar çekme gerilmesine müsaade edilen elemanlar veya 2. sınıf elemanlar,
- c) Betonda çatlaklı olarak çatlama müsaade edilen ve çatlak genişliği sınırlanan elemanlar öngerilmeli beton elemanlar veya 3. sınıf elemanlar olmak üzere üç ayrı sınıfa ayrılabilirler.

Tam öngerilmeli elemanlar boş durumda ve kullanım yüklerinin en elverişsiz tarzda etkidiği durumlarda sistemin hiçbir kesitinde çekme gerilmesinin ortaya çıkmamasının temin edildiği sistemlerdir. Önemli köprü ve hazneler bu tarzda boyutlandırılmaktadır.

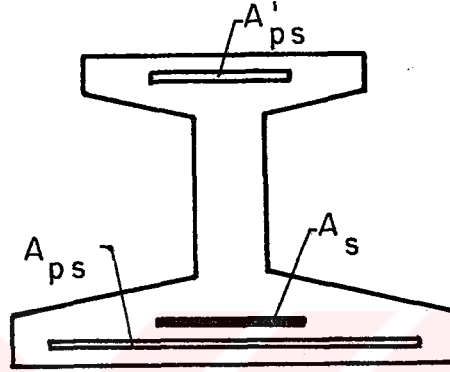
2. Sınıf elemanlarda öngerme donatısı yanında çekme gerilmeleri çıkan bölgelerde çekme kuvvetlerini almak üzere normal donatıda kullanılır.

Öngerilmeli betonarme elemanlar kullanım yüklerinin seyrek olarak etkiyenlerinin de etkidiği durumlarda betonun çatlamasına müsaade edilen fakat bu seyrek etkiyen kullanım kuvvetlerinin ortadan kalkması halinde çatlağın kapandığı elemanlardır. Bu tip elemanların sünekliği daha fazladır.

3. Sınıf elemanların çekme bölgelerine daima aderansı geliştirilmiş ek donatı konur. Bir taşıyıcı sistemde muhtelif sınıf elemanları bulunabilir. (Özden, 1988)

5. ÖNGERİLMELİ SİSTEMLERİN HESABINDA KESİT DEĞERLERİ

Ön çekmeli bir eleman kesiti gözönüne alınsın (Şekil 5.1).



Şekil 5.1.

Öngerilme donatı alanı A_{ps} , A'_{ps} ve normal donatı alanı A_s olsun. A_g brüt beton alanı A_c ise net beton alanı olsun.

Tezgahta çekme telleri gevşetilince bu andaki gerilmeleri ve elastik kısalmayı hesaplama alan A_0

$$A_0 = A_g + (n-1)A_s \quad (5.1)$$

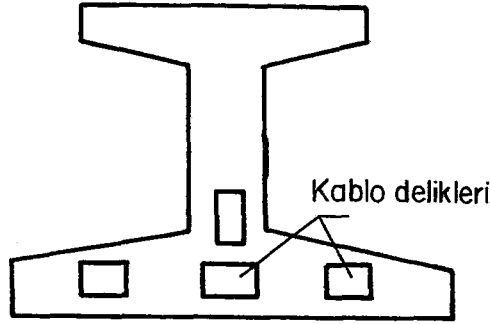
kadardır. Burada n

$$n = E_s / E_c \text{ dir.}$$

Bundan sonraki yüklemelerde, alan A_i ,

$$A_i = A_g + (n-1)A_s + (n-1)(A_{ps} + A'_{ps}) \quad (5.2)$$

Şimdi de ard çekmeli bir eleman kesiti gözönüne alınsın (Şekil 5.2).



Şekil 5.2.

Delik alanları toplamı A_d olsun

$$A_c = A_g - A_d \quad (5.3)$$

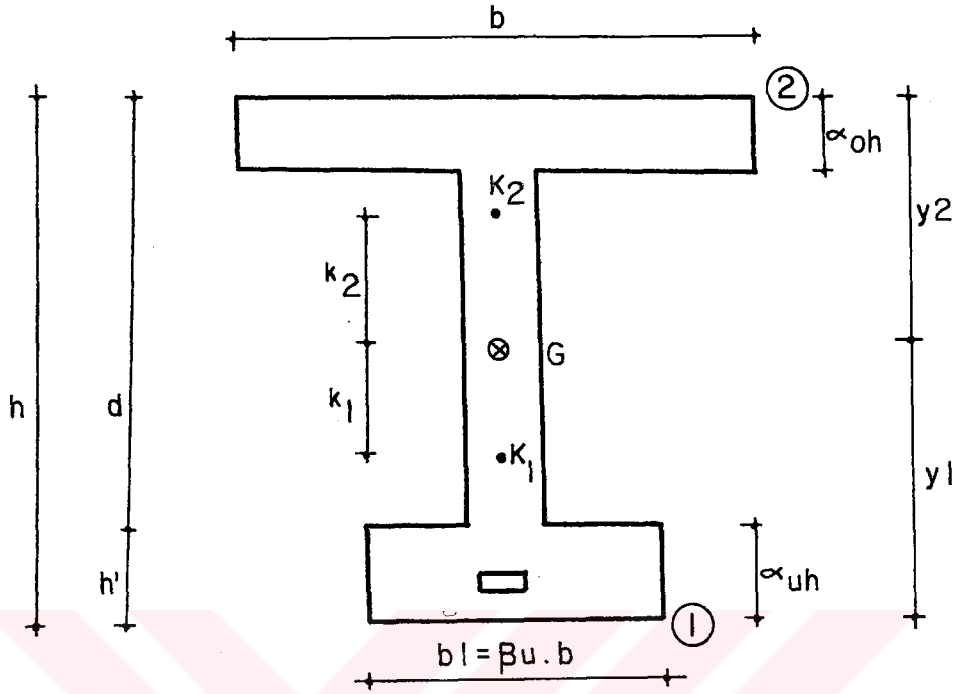
Aktarma anında çalışan alan A_c 'den ibarettir. Kılıf içerisine harç enjekte edilip aderans temin edildikten sonra çalışan alan

$$A_1 = A_g + (n-1)A_{ps} \quad (5.4)$$

Kesit ağırlık merkezlerinin yerleri ve atalet momentleri de buna göre tayin edilmelidirler.

Öngerilmeli beton inşaatta işletme yükleri altında iki aşamalı hesap yapılır. Boyutlar için ilk tahmin ve seçim yapıldıktan sonra A_g brüt kesitle hesap yapılır ve kesit boyutları ve P hakkında hakikate çok yakın bilgiler edinilir. Kablo kesitleri belirlince A_d delik alanı ve buradan A_c net beton kesit alanı hesaplanabilir. Eğer A_d çok büyük değilse ilk hesapla yetinilebilir.

Kesit boyutları için kullanılan notasyonlar TS 3233'e uyularak Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3.

G kesit ağırlık merkezi ve k_1 , k_2 alt ve üst çekirdek noktaları k_1 , k_2 bu noktaların G'ye olan uzaklıklarıdır.

A kesit alanı I eğilme atalet momenti ve h toplam kesit yüksekliği ile y_2 ve y_1 kesitin esas büyüklükleridir.

Mukavemet momentleri

$$W_1 = I/y_1, W_2 = I/y_2 \quad (5.5)$$

k_1 , k_2 çekirdek mesafelerinin

$$k_1 = W_2/A, k_2 = W_1/A \quad (5.6)$$

olduğu bilinmektedir.

Bunlarla;

$$\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \frac{y_2 + y_1}{2} = \frac{h}{I} \quad (5.7)$$

$$k_1 + k_2 = \frac{W_1 + W_2}{A} = \frac{I}{A} \left(\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} \right) = \frac{I}{A} \cdot \frac{h}{y_1 y_2} \quad (5.8)$$

bağıntıları yazılabilir.

Büyük kesit de kullanılsa bazı yardımcı tablolar olmadan kesit tayini hesapları oldukça zaman alıcı olmaktadır. Bu sebeple kesit büyüklüklerinin tayini için yardımcı tablolar teşkil edilmiştir.

Bu tablolarda kullanılan katsayılarla kesit büyüklükleri

$$\text{Kesit alan} \quad A = C_f b \cdot h \quad (5.9)$$

$$I \text{ Atalet momenti} \quad I = C_i b h^3 \quad (5.10)$$

$$y_1 = C_o h \quad (5.11)$$

$$y_2 = C_u h \quad (5.12)$$

$$C_o + C_u = 1$$

$$k_2 = \frac{I}{A \cdot y_1} = \frac{C_i h}{C_f C_u} = \frac{C_i}{C_f \cdot C_u} \cdot h \quad (5.13)$$

$$k_1 = \frac{I}{A y_2} = \frac{C_i h}{C_f C_o} = \frac{C_i}{C_f C_o} h \quad (5.14)$$

$$W_2 = \frac{I}{y_2} = \frac{C_i b h^3}{C_o h} = \frac{C_i}{C_o} b h^2 \quad (5.15)$$

$$W_1 = \frac{I}{y_1} = \frac{C_i b h^3}{C_u h} = \frac{C_i}{C_u} b h^2 \quad (5.16)$$

Başlık kalınlıkları

$$t_2 = \alpha_0 h, \quad t_1 = \alpha_y h \quad (5.17)$$

olarak kesit tiplerine göre tablolar Ek-A'da verilmiştir.



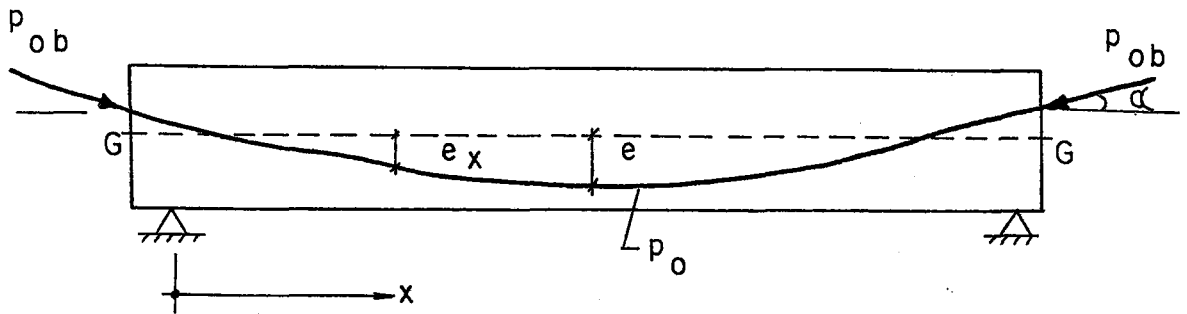
6. BASİT MESNETLİ BİR KİRİŞTE BAHİS KONUSU OLABİLEN YÜKLEME DURUMLARI YE GERİLMELER

Öngerilmeli basit mesnetli bir kirişte yapım safhasında uzun süreli kullanma safhasına kadar bahis konusu olabilen yükleme durumları aşağıda sırasıyla ele alınmıştır. (Özden,1988)

6.1. Aktarma Durumu

Aktarmadan hemen sonra, donatının gerilmesinde henüz zamana bağlı gerilme kayıpları olmamıştır. Kablo kuvveti başlangıç değerine sahiptir.

Şekil 6.1'deki basit mesnetli kiriş gözönüne alınsın.



Şekil 6.1.

Kirişe ard çekmeli tarzda öngerilme verilsin. Bu halde kablo çekilmeye başlayınca beton kirişe aşağıdan yukarı doğru,

$$P(s) = \frac{P}{\rho}$$

(6.1)

yayılı yükleri etkir ve kiriş ters sehim yapmaya başlar. Kirişin orta kısımları yerden (kalıptan) ayrılmaya başlar. Bu durumda kirişin kendi ağırlığı ve varsa üzerindeki diğer ağırlıklar kirişe yük olarak etkimeye başlar. Genel olarak yayılı olan bu yük q_1 ile gösterilsin.

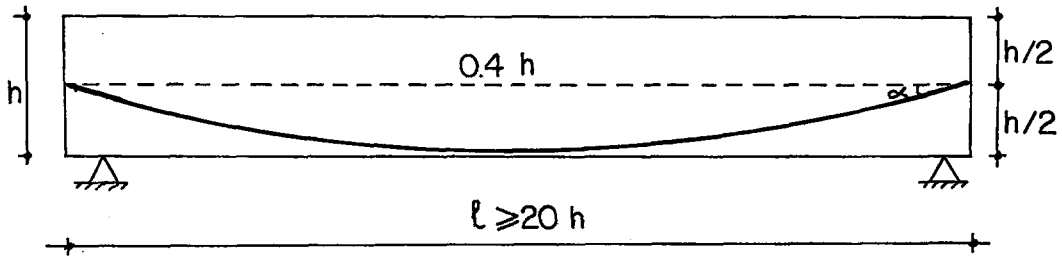
Öngerme kuvveti istenilen P_0 değerine varıp aktarma yapılmıca kirişin x kesitinde öngerme kuvvetinden dolayı

$$M = -P_{0b}.e \cos \alpha$$

$$N = -P_{0b} \cos \alpha \quad (6.2)$$

$$Y = -P_{0b} \sin \alpha \quad \text{iç kuvvetleri meydana gelir.}$$

Sabit yükseklikli kirişlerde genellikle α açısı çok küçüktür. Öngerilmeli elemanlarda yüksekliğin açıklığa oranı $L/20$ mertebesinde dir. Şekil 6.2'de görüldüğü üzere basit bir kirişte mesnetlerde kablonun yüksekliğin ortasından geçtiği, açıklık ortasında ise kesitin ortasından itibaren, kablo eksantrikliğinin yüksekliğin $4/10$ 'u olduğu kabul edilebilir (Bilge, 1982).



Şekil 6.2.

Kablo formu ikinci derece parabol farzedilerek mesnette olan en büyük kablo eğimi Şekil 6.2'de görüldüğü üzere,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0.8 \cdot h}{10 \cdot h} = 0.08$$

olarak bulunur. Bu takdirde $\cos \alpha = 0.997$ olup 1'e çok yakındır. Bu sebeple hesaplarda

$\cos \alpha = 1$ alınırsa,

$$P_{0x} \cos \alpha = P_{0x}$$

$$M = -P_{0x} \cdot e_x$$

$$N = P_{0x} \cos \alpha = P_{0x} \quad (6.3)$$

$$V = -P_{0x} \sin \alpha$$

Ard çekmeli sistemlerde gözönünde bulundurulması gereken husus henüz kablo kılıflarına harç enjekte edilmediği için gerilme hesaplarında net kesit büyüklüklerinin kullanılması gerektiğidir. A_d çok büyük olmadığı durumlarda brüt kesit değerleri kullanılabilir.

Gerilme hesaplarının kirişin boyutlandırılmasında esas olan kesitlerde yapılması gerekir. Basit mesnetli bir kirişte yük altında esas olan kesit kirişin orta kesitidir.

Kirişin orta kesitindeki kenar gerilmeleri boş durumda,

$$\sigma_{2a} = \frac{P_0}{A} - \frac{P_0 \cdot e}{W_2} + \frac{M_m}{W_2} = \frac{P_0}{A} - \frac{P_0 \cdot e}{Ak_1} + \frac{M_m}{W_2} \quad (6.4)$$

$$\sigma_{1a} = \frac{P_0}{A} + \frac{P_0 \cdot e}{W_1} + \frac{M_m}{W_1} = \frac{P_0}{A} + \frac{P_0 \cdot e}{Ak_2} - \frac{M_m}{W_1} \quad (6.5)$$

şeklinde yazılabilir (Özden, 1988).

P_0 Orta kesitte aktarmadan hemen sonraki öngerme kuvveti,

e Orta kesitteki eksantrisitedir.

P_0 Sürtünme sebebiyle kiriş başındaki $-P_{0b}$ den küçüktür.

$$\sigma_{2a} \geq \delta_1 \sigma_{2ae} \quad (6.6)$$

$$\sigma_{1a} \leq \sigma_{1ae} \quad (6.7)$$

olmalıdır. Burada

σ_{2ae} = Bu yükleme için betonun eğilmeye çekme emniyet gerilmesi.

σ_{1ae} = Betonun bu safhada basınç emniyet gerilmesi

δ_1 = 1. Sınıf yapılarda sıfır,

2. sınıf yapılarda 1 olan bir katsayıdır.

(6.6) ve (6.7) şartlarının sağlanmaması halinde şunlar yapılabilir.

a) İmkân varsa bir kısım kabloları sabit yüklerin artması veya tümüyle etkimesinden sonra germek cihetine gitmek yani P_0 'ı kısımlara bölmek. Bu tarz öngerilme vermeye kademeli öngerilme denecektir.

Bu halde P_0 tümü etkidiğinde M_m büyümüş olacağı için σ_{1a} küçülmüş σ_{2a} büyümüş olacaktır.

b) P_0 'ı kısımlara ayırmaya imkân yoktur.

Ön çekmeli sistemlerde daima, ard çekmeli sistemlerde ise çok defa durum böyledir. Bu halde kesit büyütülerek (6.6), (6.7) eşitsizlikleri sağlanır.

6.2. Kademeli Öngerilme Vermek Mümkün ve Kiriş Yanlız Sabit Yükle Yüklü

Bu halde aktarma halinde kademeli öngerilme vererek net kesit halinde gerilmelerin sınırlar içinde kalması temin edilebilir.

Sabit yüklerin tümü etkidiğinde öngerilmenin bütünü de verilmiş olur. Belirli bir zaman içerisinde zamana bağlı kayıplar meydana gelmiştir. Bu kayıpların bütünü meydana geldiği zaman P_0 'ın azalarak limit $P = \eta P_0$ 'a indiği durum hesaba esas alınabilir. η birden küçük bir sayı olmasına rağmen P_0 P 'den büyük olmasına karşın fark azdır. Bu durumda kablo kanallarına harç enjekte edilmiş ve kesitler ideal kesite dönüşmüşlerdir. Bu yükleme durumuna boş durum denecektir.

Sabit yüklerin bütünü olan $(g_1 + g_2) = g$ nin verdiği moment M_g ile gösterilsin,

$$\sigma_{2g} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{W_2} + \frac{M_g}{W_2} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{Ak_1} + \frac{M_g}{W_2} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{1g} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{W_1} - \frac{M_g}{W_1} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{Ak_2} - \frac{M_g}{W_2} \quad (6.9)$$

σ_{2g} ve σ_{1g} gerilmeleri yönetmeliklerde tespit edilmiş belirli sınırları aşmamalıdır.

$$\sigma_{2g} \leq \delta_1 \sigma'_{2ge} \quad (6.10)$$

$$\sigma_{1g} \geq \sigma_{1ge} \quad (6.11)$$

σ_{2ge} = Betonun bu yüklemede eğilme çekme emniyet gerilmesi.

σ_{1ge} = Betonun yine bu yüklemede basınç emniyet gerilmesidir.

6.3. Kiriş işletmeye girmiştir ve Bütün Sabit Yüklerle Beraber q Hareketli Yükü de Etkimaktadır

Bu safhada çok defa kablo kuvveti artık P sonuç değerine haizdir. Toplam dış yükten meydana gelen moment M_p

$$M_p = M_g + M_q$$

ile ve brüt kesiti kullanarak, σ_{2p} σ_{1p} kenar gerilmeleri,

$$\sigma_{2p} = \frac{P}{A} - \frac{P_e}{Ak_{.1}} + \frac{M_p}{W_2} \quad (6.12)$$

$$\sigma_{1p} = \frac{P}{A} + \frac{P_e}{Ak_{.2}} - \frac{M_p}{W_1} \quad (6.13)$$

şeklinde yazılabilir.

σ_{2p} ve σ_{1p} kenar gerilmeleri de yönetmeliklerde tespit edilmiş sınırları aşmamalıdır.

Yani,

$$\sigma_{2p} \geq \delta_2 \sigma_{2pe} \quad (6.14)$$

$$\sigma_{1p} \leq -\delta_3 \sigma_{1pe} \quad (6.15)$$

δ_3 basınç başlığının büyük olduğu durumlarda kesit yüksekliğinin küçük çıkmasını önlemek maksadı ile proje yapan tarafından kullanılabilen 1 veya 1'den küçük bir katsayıdır.

6.4. Boyutlandırmada Takip Edilmesi Gereken Yol

1 Adım:

Toplam sabit yük ve daimi öngerilme, bütün yük ($g+q=p$) ve daimi öngerilme alınarak,

$$\sigma_{2g} \leq \delta_1 \sigma'_{2gc} \qquad \sigma_{2p} \geq \delta_2 \sigma_{2pc}$$

$$\sigma_{1g} \geq \sigma_{1gc} \qquad \sigma_{1p} \leq -\delta_3 \sigma_{1pc}$$

şartları gerçekleşecek şekilde kesiti boyutlandırmak.

2 Adım:

$$\begin{aligned} a) \quad \sigma_{2a} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o \cdot e}{W_2} + \frac{M_m}{W_2} \\ \sigma_{1a} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o \cdot e}{W_1} - \frac{M_m}{W_1} \end{aligned}$$

Gerilmelerini hesaplayarak

$$\sigma_{2a} \geq -\delta_1 \sigma'_{2ge}$$

$$\sigma_{1a} \leq \sigma_{1ge}$$

büyütülmüş sınırları aşıp aşmadığını kontrol etmek.

b) Eğer bu şartlar sağlanmıyorsa öngerilmeyi kademeli vermek.

Ancak $\sigma_{2a} \geq -\delta_1 \sigma'_{2ge}$ $\sigma_{1a} \leq \sigma_{1ge}$ şartları sağlanmıyorsa ve kademeli öngerilmeye

imkân yoksa bu halde g_1 (sabit yük) ve ($g+q=p$) yükleme durumları esas alınarak;

$$\sigma_{2a} \geq -\delta_1 \sigma'_{2ge} \qquad \sigma_{2p} \geq \delta_2 \sigma_{2pe}$$

$$\sigma_{1a} \leq \sigma_{1ge} \qquad \sigma_{1p} \leq -\delta_3 \sigma_{1pe}$$

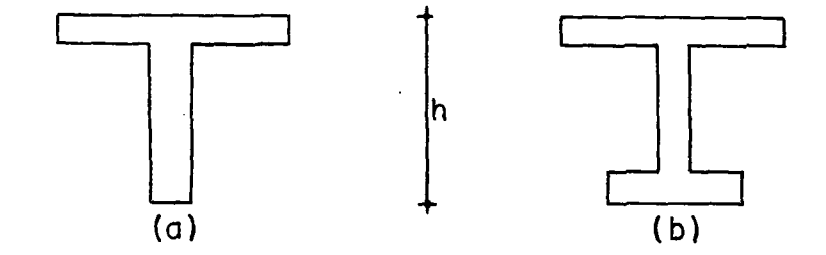
6.5.1. Beton kesit

Gerilme ifadelerinden anlaşılacağı üzere W , W_2 mukavemet momentlerinin büyük olması

gerektiğini göstermektedir. Bu sebepten kesitler genellikle;

a) Yalnız dikey simetri eksenli, (Şekil 6.3)

b) İki simetri eksenli, (Şekil 6.4), boyutlandırılabilir.



Şekil 6.3.

Kesit boyutlandırmalarında genel olarak h yüksekliği seçilir ve kesitin diğer boyutları hesaplanır.

1. Plak köprülerde

Bir açıklıklı olması halinde

$$1/30 < h < 1/25$$

Mütemadi olması halinde

(6.16)

$$h > 1/35$$

2. Hürdi köprülerde

$$1/18 < h < 1/10$$

(6.17)

3. Köprü kirişlerinde

Basit mesnetli kiriş halinde

$$h \geq 1/20 \quad l < 35 \text{ m}$$

$$h \geq 1/17 \quad l < 50 \text{ m}$$

(6.18)

$$h \geq 1/15 \quad l < 100 \text{ m}$$

Mütemadi kiriş halinde paydalara 5 eklenerek bulunur.

4. Köprü kirişlerinde b_w gövde kalınlığı

$$b_w = 7 + h/40 + \text{Max Agregâ çapı}$$

(6.19)

Ayrıca h' (pas payı) yüksekliği 1 m ve daha fazla olan kirişlerde $h/10$ daha basık kirişlerde ise $h/7 - h/5$ civarında alınabilir. Kesitlerin ekonomik olup olmadığını gösteren bir faktör de ρ kesit randımanıdır. Dikdörtgen kesitlerde $\rho = 1/3$

I kesitlerde ise ρ 'nun 0.5 civarında olması uygundur. Daha büyük alınırsa gövde ve başlıklar inceler. Böyle bir kesit nakledilirken montaj sırasında hasara uğrayabilir.

Dikdörtgen halka kesitlerde ρ ise en çok 0.6 kadar olmalıdır.

$$\rho = I / (A \cdot y_1 y_2)$$

(6.20)

7. EĞİLMEYE MARUZ KESİTLERİN BOYUTLANDIRILMASI

7.1. Kesit Tipinin Seçimi

Boyutlandırmada önce kesit tipi seçilir. Sonra l açıklığı ve yapının maliyetine göre (6.16), (6.17), (6.18) ifadelerinden istifade edilerek h yüksekliği tespit edilir.

l^x basit mesnetli elemanlarda açıklık konsol kirişlerde açıklığın iki katı olmak üzere

$$\frac{h}{l} = \frac{1}{11} \times \frac{1 + 0,04 l^x}{3 + 0,004 l^x} \quad (7.1)$$

ifadesinden istifade edilip h/l oranı bulunabilir. Bu oran (6.16), (6.17), (6.18)'deki oranlarla karşılaştırılıp mesleki deneyimle h tespiti yapılabilir.

Eğilmeye maruz kesitlerde kesit tipinin seçiminde gözönünde bulundurulması gereken faktörlerden biri de,

$$r = M_g/M_p \text{ dir.} \quad (7.2)$$

a) Bu oran belirli bir değerden büyük olsun.

Bu halde sabit yükün etkisi önemli oluyor demektir. Faydalı yükün etkidiği durumlarda kesitin üst kenarı büyük basınç gerilmelerine maruz olur. Faydalı yükün bulunmadığı durumda kesitin alt kenarında basınç gerilmeleri vardır ama bu gerilmeler o kadar büyük değildir. Bu kısmın alam küçük tutulabilir. Bu durumda uygun kesit tipinin Şekil 6.3.a'da gösterilmiş bulunan tablalı kesit olduğu söylenebilir(Özden, 1988).

b) Bu oran belirli bir değerden küçük olsun.

Bu halde sabit yükün etkisi faydalı yükün yanında küçük kalıyor demektir. Faydalı yükün etkimediği durumda kesitin alt kenarı büyük basınç gerilmelerine maruz kalır.

Buna göre bu hale ait uygun kesit tipinin Şekil 6.3.b'deki alt başlığı üst başlığı kadar büyük olmayan I kesiti olduğu söylenebilir. Oranın daha küçük olması veya faydalı yükün işaret değiştiren momentler verebilmesi hallerinde Şekil 6.4'de gösterilmiş olan simetrik I veya □ kutu kesit tiplerine gidilebilir.

Bu iki halin sınırı olarak kesin bir r değeri vermek mümkün olmasa bile yaklaşık olarak

a) $r \geq 1/4$ için

b) $r < 1/4$ için durum söz konusu olabileceği söylenebilir.

Bu hallerde h seçildikten sonra kesitin diğer boyutlarının yaklaşık olarak tespiti şu şekilde yapılabilir.

a) $r \geq 1/4$ Durumu:

Kesitin üst başlığının tayini. Üst başlık genişliği b

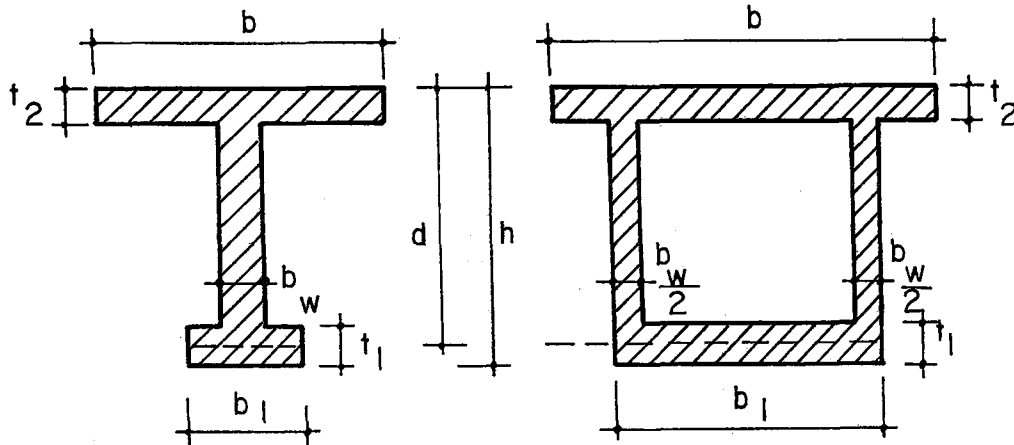
$$M_p = \sigma_{ce} \cdot \frac{b d^2}{3} \cdot k_m \quad (7.3)$$

ifadesinden bulunabilir.

k_m : Tablo 7.1'de verilmiş bir katsayıdır. Tablodaki α ve β

$$\alpha = t_2/d, \beta = bw/b \quad (7.4)$$

oranlarını göstermektedir.



Şekil 7.1.

β_w (6.19) ile bellidir. β_w seçilip b değeri 7.3 hesaplanabilir. Bulunan b uygun bulunmadığında a değiştirilerek yeni bir b bulunur.

Tablo 7.1.

$d = t_2/d$	$\beta = bw/b$										
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00
0.00	0.000	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.400	0.500	0.750	1.00
0.05	0.143	0.186	0.228	0.270	0.314	0.357	0.400	0.488	0.571	0.786	1.00
0.10	0.271	0.207	0.344	0.380	0.417	0.453	0.490	0.563	0.635	0.818	1.00
0.15	0.386	0.417	0.477	0.478	0.508	0.539	0.570	0.632	0.693	0.847	1.00
0.20	0.488	0.514	0.539	0.565	0.590	0.616	0.642	0.693	0.744	0.872	1.00
0.25	0.578	0.599	0.620	0.641	0.662	0.683	0.704	0.746	0.789	0.894	1.00
0.30	0.657	0.674	0.691	0.708	0.726	0.743	0.760	0.794	0.829	0.914	1.00
0.40	0.784	0.795	0.806	0.816	0.827	0.838	0.849	0.870	0.892	0.946	1.00
0.50	0.875	0.881	0.888	0.894	0.900	0.906	0.913	0.925	0.937	0.968	1.00
0.75	0.984	0.985	0.986	0.988	0.987	0.988	0.989	0.991	0.992	0.996	1.00
1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00

Alt Başlığın Tayini:

Alt başlığın W_1 mukavemet momenti

2. sınıf yapılarda

$$W_1 = \frac{\text{Max } M_p - \text{Min } M_p}{\sigma_{ce}} \quad (7.5)$$

1. sınıf yapılarda

$$W_1 = 1.25 \frac{\text{Max } M_p - \text{Min } M_p}{\sigma_{ce}} \quad (7.6)$$

Burada;

Min M_p kesitte eğilme momentinin en küçük değerini göstermektedir. Bir açıklıklı kirişte (7.5), (7.6) ifadelerinin payı $M_q = M_p - M_g$ olacağı açıktır.

Üst başlığın tayini sonucu ortaya çıkan kesitin bir W_{1h} mukavemeti belirmiştir. Bu değer tablalı kesitlerin mukavemet momentlerini veren tablolardan okunabilir veya hesap edilebilir. W_{1h} , (7.5), (7.6) hesaplanan W_1 küçük olması halinde alt başlık Şekil 7.1'deki gibi genişletilebilir.

Gereken alan

$$A_{c1} = (b_1 - b_w) \cdot t_1 \quad (7.7)$$

olarak hesaplanır.

t_1, t_2 (5.17)'de verilmiş bulunmaktadır.

b) $r < 1/4$ Durumu:

Kesitin üst başlığının tayini $r > 1/4$ durumunda yapılan işlemlere paralel olarak yapılabilir. Ancak burada M_p yerine M_q momenti kullanılmalıdır.

1. Sınıf yapılarda

$$M_q = \sigma_{ce} \frac{b \cdot d^2}{3} \cdot k_m \quad (7.8)$$

2. Sınıf yapılarda

$$1.25 M_q = \sigma_{ce} \frac{b \cdot d^2}{3} \cdot k_m \quad (7.9)$$

Burada elde edilecek üst başlığa yakın ondan küçük bir başlık alt başlık olarak alınabilir.

7.2. Kesitte Boş ve Dolu Durumda Gerçeklenmesi Gereken Şartlar

Şekil 7.2'deki basit mesnetli ard çekmeli ve kesit tipi seçilmiş kiriş gözönüne alınsın.

Kesit tesirleri:

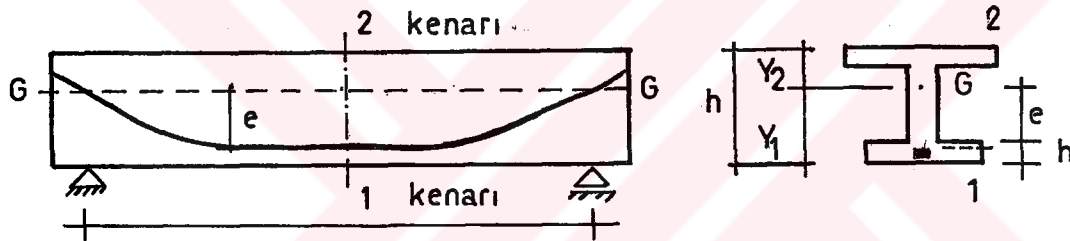
Boş durumda

Maksimum eğilme momenti M_g

Dolu durumda

Maksimum eğilme momenti $M_p = M_q + M_g$

olarak verilmiş olsunlar.



Şekil 7.2.

TS 3233'e göre

$$\sigma_{1ge} = \sigma_{2pe}$$

$$\sigma_{2ge} = \sigma_{1pe} = \text{olduğu kabul edilmiştir.}$$

Buna göre;

$$\sigma_{1ge} = \sigma_{2pe} = \sigma_{ce} \quad (7.10)$$

$$\sigma_{2ge} = \sigma_{1pe} = \sigma_{ce} \quad (7.11)$$

olur.

Bu notasyonlara göre, kirişin sabit yüklerle yüklendiği ve bütün sabit yüklerle beraber q hareketli yükü ile yüklendiği zaman meydana gelen gerilmeleri,

$$\sigma_{2g} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{A_{k1}} + \frac{Mg}{W_2} \geq - \delta_1 \sigma_{ce} \quad (7.12)$$

$$\sigma_{1g} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{A_{k2}} - \frac{Mg}{W_1} \leq \sigma_{ce} \quad (7.13)$$

$$\sigma_{2p} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{A_{k1}} + \frac{Mp}{W_2} \leq \delta_2 \sigma_{ce} \quad (7.14)$$

$$\sigma_{1p} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{A_{k2}} - \frac{Mp}{W_1} \geq - \delta_3 \sigma_{ce} \quad (7.15)$$

olarak yazabiliriz.

Yukarıdaki ifadelere dikkat edilirse kesitin tayin edilebilmiş olması için;

a) Beton kesitin tayini bunun içinde

$$A, W_1 = I/y_1, W_2 = I/y_2 \quad (7.16)$$

b) Öngerilmenin tayini bunun içinde

P Öngerme kuvveti ve e eksantritesi tayini gerekmektedir. Tayin edilmesi gereken büyüklüklerin sayısı 5 oluyor demektir. (Özden, 1988)

4 denkleme karşı 5 bilinmeyen var gibi ise de kesit tipi seçildiğinde $W_1 = I/y_1, W_2 = I/y_2$ hesaplanıp bunlarla A'nın hesabı yapılabildiğinde; bilinmeyen sayısı 4 olacak demektir.

7.3. Dört Eşitsizliğin 4'ünün de Eşitlik Haline Getirilebilmesi Şartı, Bu Şartın

Sağlandığı Özel Durumda Kesit Tayini

Eşitsizlikleri (7.12), (7.15), (7.13), (7.14) sırasıyla ele almak ve eşitlik olabilme imkânlarını aramak uygundur.

a) (7.12) eşitsizliği

$$\sigma_{2g} = \frac{P}{A} - \frac{P \cdot e}{A k_1} + \frac{M_g}{W_2} \geq - \sigma_1 \sigma_{ce}' \quad (7.17)$$

eşitsizliğinin her iki tarafı $A k_1 / P$ ile çarpılır ve $k_1 = \frac{W_2}{A}$, $k_2 = \frac{W_1}{A}$ ifadeleri hatırlanırsa bu ifade

$$e \leq k_1 + \frac{M_g + \sigma_1 \sigma_{ce}' W_2}{P} \quad (7.18)$$

şeklini alır.

$$e_{maks} = k_1 + \frac{M_g + \sigma_1 \sigma_{ce}' W_2}{P} \quad (7.19)$$

eşitsizlik

$$e \leq e_{maks} \quad (7.20)$$

Eğer e_{maks} değeri $e_u = y_1 - h'$ değerinden büyük olursa (7.12) eşitlik olması halinde $e = e_{maks}$ olması halinde kablo kesit alt kenarından dışarı çıkacak demektir. Buna müsaade edilemeyeceğine göre (7.12) eşitsizliği eşitlik olmayacak demektir. Bu durumda kesit üst kenarında $\sigma_1 \sigma_{ce}'$ limit gerilmesine erişilemeyecektir diye de ifade edilebilir.

Şimdi

$$e_{maks} \leq e_u = y_1 - h' \quad (7.21)$$

olduğu kabul edilsin.

Bu durumda,

$$e = e_{maks} = k_1 + \frac{M_g + \sigma_1 \sigma_{ce}' W_2}{P} \quad (7.22)$$

alınarak eşitlik yapılabilir.

e'nin daima mümkün olan en büyük değeri olması ekonomik kesit tayini için gerekli olduğundan (7.21) geçerli olduğu her durumda e (7.22) göre hesaplanabilir.

b) (7.15) eşitsizliği:

$$\sigma_p = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{A k_2} - \frac{M_p}{W_1} \geq -\sigma_3 \sigma_{ce}'$$

eşitsizliğinin her iki tarafı $A k_2 / P$ ile çarpılır ve $k_1 = W_2 / A$, $k_2 = W_1 / A$ ifadeleri hatırlanırsa

bu ifade

$$e \geq -k_2 + \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' W_1}{P} \quad (7.23)$$

şeklini alır.

$$e_{\min} = -k_2 + \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' W_1}{P} \quad (7.24)$$

buradan

$$e \geq e_{\min} \quad (7.25)$$

şeklinde yazılabilir.

e'nin büyük olması istendiğinden

$$e = e_{\min} = -k_2 + \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' W_1}{P} \quad (7.26)$$

eşitliği daima sağlanabilir.

Buna göre (7.15) deki $\sigma_3 \sigma_{ce}'$ gerilmesine daima erişilebilir.

(7.22), (7.25) ile

$$e_{\text{maks}} \leq e_u$$

$$e = e_{\text{maks}} = e_{\text{min}} \quad (7.27)$$

alınarak

$$k_1 + \frac{M_g + \delta_1 \sigma_{ce}' W_2}{P} = -k_2 + \frac{M_p - \delta_3 \sigma_{ce}' W_1}{P} \quad (7.28)$$

eşitliği elde edilir.

Buradan P

$$P = \frac{(M_p - M_g) - (\delta_1 W_2 + \delta_3 W_1) \sigma_{ce}'}{k_1 + k_2} \quad (7.29)$$

şeklinde W_1 W_2 bağılı olarak hesaplanabilir.

7.3.1. Beton kesitin taşıma

a) (7.13) eşitsizliği

$$\sigma_{1g} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{Ak_2} - \frac{M_g}{W_1} = \sigma_{ce}$$

şeklinde yazar

$$\sigma_{1p} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{Ak_2} - \frac{M_p}{W_1} = \delta_3 \sigma_{ce} \quad (7.30)$$

eşitliğinden taraf tarafa çıkarırsak

$$\frac{M_p - M_g}{W_1} = \sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}' \quad (7.31)$$

eşitliği bulunur.

Buradan W_1

$$W_1 = \frac{I}{y_1} = \frac{M_p - M_g}{\sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}'} \quad (7.32)$$

olarak elde edilir.

b) (7.14) eşitsizliği

(7.14) eşitsizliği eşitlik halinde yazılıp (7.12) eşitsizliğini eşitlik halinde yazıp taraf tarafa çıkarırsak

Bu halde

$$\frac{M_p - M_g}{W_2} = \delta_2 \sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}' \quad (7.33)$$

eşitliği bulunur.

Buradan W_2

$$W_2 = \frac{I}{y_2} = \frac{M_p - M_g}{\delta_2 \sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}'} \quad (7.34)$$

olarak elde edilir.

Bu ifadelerden anlaşılacağı üzere

$$M_g = M_p - M_g \quad (7.35)$$

birisini teşkil etmektedir.

M_g 'ye minumum moment, M_p 'yi maksimum moment olarak kabul edilirse

$$\Delta M = M_p - M_g \quad (7.36)$$

$$\Delta G = \sigma_{ce} - \delta_t \sigma_{ce} \quad (7.37)$$

$$(\delta_t = \delta_1 = \delta_3)$$

$$(W_1 \text{ veya } W_2) = \Delta M / \Delta G$$

şeklinde yazılabilir.

Bu sonuca göre 4 limit gerilmeye erişilen özel durumda, beton kesit yalnız moment ve gerilmelerin değişimlerinin oranına tabidir diye ifade etmek mümkündür.

W_1, W_2 bilinince y_1 ve y_2

$$W_1 / W_2 = y_2 / y_1 \quad (7.38)$$

$$h = y_1 + y_2 \quad (7.39)$$

ile hemen hesaplanabilir.

İnert moment

$$I = y_1 W_1 = y_2 W_2 \quad (7.40)$$

taayin edilebilir.

Tipi, yüksekliğı ağırlık merkezinin yeri belli bir kesiti mümkün olduğı kadar ekonomik olacak şekilde yani A mümkün olduğı kadar küçük olacak şekilde tayin etmek gerekir.

Kesitin geri kalan büyüklükleri

$$b_w = 7 + \frac{h \text{ (cm)}}{40} + \max \text{ Agrega çapı} \quad (7.41)$$

Paragraf 7.1'de verilen önerilere göre ve Tablo 7.1'den yararlanmak suretiyle b hesaplanır: Buradan kesit alan A hesaplanır.

Kesitin hesaplanan I , y_1 , y_2 büyüklükleri ve seçilen b w dışındaki büyüklükler, b seçilene Ek-1'de verilen tablolarla daha hızlı olarak bulunabilir.

Kesit tipine uygun bir ρ randımanı seçilirse A kesit alanı

$$A = I / (\rho \cdot y_1 \cdot y_2) \quad (7.42)$$

7.3.2. P ve e tayini

W 'ler ve A 'nın tayininden sonra k_1 ve k_2 ler hesaplanarak

$$P = \frac{(M_p - M_g) - (\delta_1 W_2 + \delta_3 W_1) \sigma_{ce}'}{k_1 + k_2} \quad (7.43)$$

$$e = k_1 + \frac{M_g + \delta_1 \sigma_{ce}' \cdot W_2}{P} \quad (7.44)$$

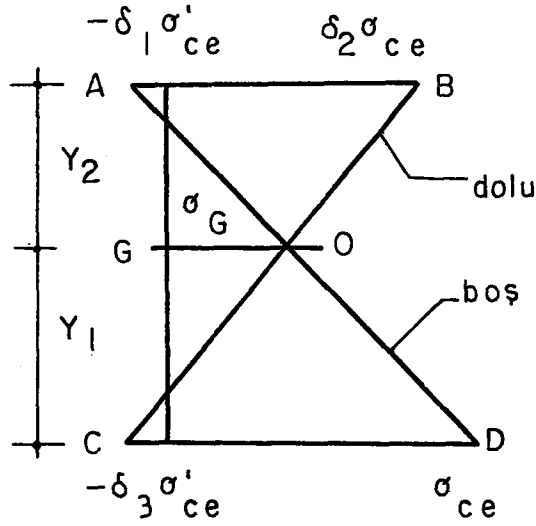
bulunur. e bulunduktan sonra

$$e \leq e_u = y_1 - h' \quad (7.45)$$

şartının sağlanıp sağlanmadığına bakılır.

Eğer bu şart sağlanmıyorsa bu kesit tayininde 4 limit gerilmeden $\delta_1 \sigma_{ce}'$ gerilmesine erişilemiyor. (7.12) eşitsizliği eşitlik haline getirilemiyor demektir. Hesap yolunun değiştirilmesi gerekmektedir.

4 limit gerilmeye erişilmesi durumunda P kuvveti daha basit olarak bu limit gerilmeler cinsinden hesaplanabilir.



Şekil 7.3.

Şekil 7.3'de boş ve dolu durumlarda limit gerilmelere erişildiği gösterilmiştir. Kesitte gerilmenin G'den ölçülen düzey y mesafesi ile

$$\sigma(y) = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} \cdot y \quad (7.46)$$

olarak yazılabileceği açıktır.

$y=0$ için yani G ağırlık merkezi hizasında gerilme

$$\sigma(o) = \sigma_G = \frac{P}{A} \quad (7.47)$$

olarak bulunur.

P sabit kaldığına göre dolu ve boş durumlarda σ_G ler P/A olarak birbirine eşittir.

σ_G ler bilinen (7.47) den

$$P = A \cdot \sigma_G \quad (7.48)$$

olarak hesap edilebilir.

y_2 y_1 bilinmektedir. Şekil (7.3)'den OAB ve OCD üçgenlerinin benzerliğinden

$$\frac{y_2}{\delta_2 \sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}'} = \frac{y_1}{\sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}'} \quad (7.49)$$

bağıntısı yazılabilir. Buradan

$$y_2 / y_1 = \frac{I / y_1}{I / y_2} = \frac{\delta_2 \sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}'}{\sigma_{ce} + \delta_1 \sigma_{ce}'} \quad (7.50)$$

ifadesi elde edilir.

Yine Şekil (7.3)'den

$$\sigma_G = -\delta_1 \sigma_{ce}' + \frac{y_2}{h} (\delta_1 \sigma_{ce}' + \sigma_{ce}) = -\delta_3 \sigma_{ce}' + \frac{y_1}{h} (\delta_3 \sigma_{ce}' + \delta_2 \sigma_{ce}) \quad (7.51)$$

bağıntısı yazılabilir.

$$-1 + \frac{y_2}{h} = \frac{-y_1}{h}, \quad -1 + \frac{y_1}{h} = \frac{y_2}{h} \quad (7.52)$$

olduğu düşünülürse (7.51)'den

$$\sigma_G \sigma_{ce} \frac{y_2}{h} - \delta_1 \sigma_{ce}' \frac{y_1}{h} = \delta_2 \sigma_{ce} \frac{y_1}{h} - \delta_3 \sigma_{ce}' \frac{y_2}{h} \quad (7.53)$$

olarak σ_G hesaplanmış olur.

(7.48)'den yararlanılarak P hesaplanır.

$$e \leq e_u = y_1 - h \quad (7.54)$$

şartı sağlansın.

Bu durumda 4 limit gerilmeye erişilmiştir.

7.4. Dört Limit Gerilmeye Erişilemeyen Durumlar

Basit mesnetli bir kirişte l açıklığı kirişin kendi ağırlığı hariç g_2 (kN/m-t/m) sabit yükü, q (kN/m-t/m) faydalı yükü ve limit gerilmeler verilmiş olsun. Bu kesitin tayini istenmiş bulunsun.

Kesitin tayini için h yüksekliği seçilip dört limit gerilmeye erişebileceği kabulü ile yapılan hesap sonucunda e eksantiritesinin

$$e \geq y_1 - h'$$

olduğu görülsün.

Bu durumda (7.12) eşitsizliği eşitlik haline getirilemiyor demektir. Kesitin ekonomik olarak boyutlandırmak için e eksantiritesinin mümkün olduğu kadar büyük olmak faydalı olduğundan

$$e = y_1 - h' \quad (7.55)$$

Dört limit gerilmeye erişilemediğinden kirişin kendi ağırlığı da hesaba katılmalıdır. Kesit tipi ve uygun h yüksekliği seçilip (7.55) e eksantiritesi hesaplandıktan sonra; bilinmeyen olarak,

$$\text{Beton kesite ait } W_1 = I/y_1 \quad W_2 = I/y_2$$

Öngerilmeye ait P nin tayini gerekir.

(7.12) eşitsizliği eşitlik olmadığına göre yani $(-\delta_1 \sigma_{ce})$ 'ye eşit olmamakla beraber bir σ_{2x} gerilme değerine eşit olacağı açıktır.

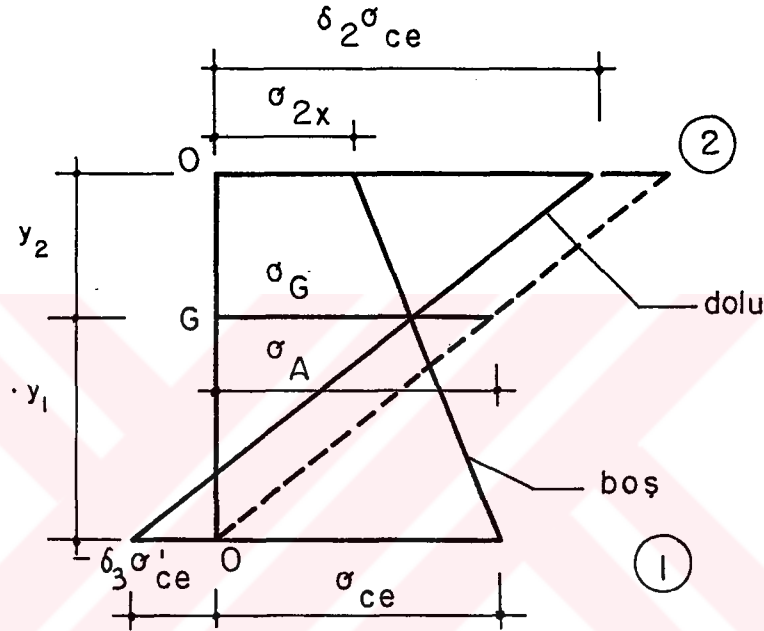
(7.13), (7.14), (7.15) eşitsizlikleri ise eşitlik olabilmektedir.

$$\frac{P}{A} + \frac{P.e}{Ak_2} - \frac{Mg}{W_1} = \sigma_{ce} \quad (7.56)$$

$$\frac{P}{A} - \frac{P \cdot e}{Ak_1} + \frac{Mp}{W_2} = \delta_2 \sigma_{ce} \quad (7.57)$$

$$\frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{Ak_2} - \frac{Mp}{W_1} = \delta_3 \sigma_{ce}' \quad (7.58)$$

Kesitin dolu ve boş durumlarına ait gerilme diyagramları Şekil 7.4'de gösterilmiştir.



Şekil 7.4.

Kesit tayininde kesit yüksekliği h 'dan başka kesit tipine uygun q randımanını da seçmek hesapları kolaylaştırmaktadır.

Bu seçimler yapıldıktan sonra

$$y_2 = \lambda \cdot h \quad (7.59)$$

diyerek kesit değerleri λ bağlı olarak bulunur.

$$y_1 = (1 - \lambda) \cdot h \quad (7.60)$$

$$I = A y_1 y_2 = A h^2 \lambda (1 - \lambda) \quad (7.61)$$

$$k_2 = W_1 / A = I / (y A) = \lambda \cdot h \quad (7.62)$$

$$k_1 = W_2/A = I/(y_2 A) = d(1-l) \quad h \quad (7.63)$$

$$e = y_1 - h^1 = (1-l) \cdot h - \epsilon \cdot h \quad (7.64)$$

$$(\epsilon = h^1/h) \quad (7.65)$$

(7.66)'da verilen 2. derece denklemden faydalanmak suretiyle de λ değeri hesap edilir.

$$(1-g)(\delta_3 \sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}) \lambda^2 - \left[(2-e-\epsilon) \delta \sigma_{ce} + \left(1 + \frac{g_2}{q}\right) g \sigma_{ce} + \right. \\ \left. (1-\epsilon - \frac{g_2}{q} e) \delta_3 \sigma_{ce} \right] \lambda + (1-\epsilon) \delta_3 \sigma_{ce} - \frac{d}{8} \frac{l^2}{h} = 0 \quad (7.66)$$

d Betonarmenin yoğunluğu

λ değeri g_2/P ve p randımanına bağlı olarak Tablo 7.2'den hesap edilebilir (Bilge, 1982)

Tablo 7.2.

$l = y_2/h$					
p	0.50	0.45	0.40	0.35	0.33
0.50	0.400	0.777	1.250	1.879	2.133
0.60	0.250	0.568	0.975	1.509	1.723
0.333	0.700	Dikdörtgen kesitse			
	Simetrik kesit	Simetrik olmayan kesit			

$p = 0.60$ değeri simetrik olmayan kutu kesitlere tekabül eder.

Kesit alanı A ve betonarmenin yoğunluğu d olduğuna göre M_g , M_p momentleri,

$$M_g = d \cdot A \cdot \frac{l^2}{8} + g_2 \cdot \frac{l^2}{8} \quad (7.67)$$

$$M_p = M_g + q \cdot \frac{l^2}{8} = d \cdot A \cdot \frac{l^2}{8} + \left(1 + \frac{g_2}{q}\right) q \cdot \frac{l^2}{8} \quad (7.68)$$

olarak hesaplanır. (7.58)'in her iki tarafını AK_2/P ile çarparsak

$$e = -k_2 + \frac{M_p - \delta_2 \sigma_{ce}' W_1}{P} \quad (7.69)$$

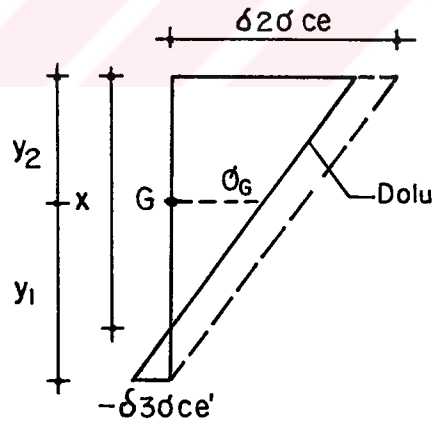
Bu ifade (7.55)'e eşitlenirse

$$P = \frac{M_p - \delta_3 \sigma_{ce}' W_1}{y_1 - h' + k_2} \quad (7.70)$$

hesaplanır. (7.58)'den (7.56) çıkarılırsa

$$W_1 = \frac{I}{y_1} = g \cdot A \cdot h \cdot \lambda = \frac{M_p - M_g}{\sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}'} \quad (7.71)$$

hesaplanır.



Şekil 7.5.

$$x = \frac{\delta_2 \sigma_{ce}}{\delta_2 \sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}'} \quad (7.72)$$

$$\sigma_G = \frac{(x - y_2) \cdot \delta_2 \sigma_{ce}}{\lambda} \quad (7.73)$$

veya

$$(\sigma_G + \delta_3 \sigma_{ce}') = \frac{y_1}{h} (\delta_2 \sigma_{ce} + \delta_3 \sigma_{ce}') \quad (7.74)$$

$$\sigma_G = (1 - \lambda) \delta_2 \sigma_{ce} - \lambda \delta_3 \sigma_{ce}' \quad (7.75)$$

olarak bulunur.

P Öngerme kuvveti ise

$$P = A \sigma_G = A (1 - \lambda) \delta_2 \sigma_{ce} - A \lambda \delta_3 \sigma_{ce} \quad (7.76)$$

olarak yazılabilir.

λ hesaplanınca y_1, y_2 hesaplanır. (7.71)'den W_1, I hesaplanır.

$$A = I / (\delta y_1 y_2)$$

A bulunur.

7.5. Özel Kesitler

Kesitin iki simetri eksenini olsun. İki simetri eksenli olan kesitler kutu kesitler eşit başlıklı I kesitleridir. Kesit iki simetri eksenli olunca,

$$W_1 = W_2, \quad y_1 = y_2 = h/2 \quad (7.77)$$

Kesitin tayininde bilinmeyen sayısı;

a) Kesitin kritik durum altında olması halinde,

W, P, e olmak üzere 3

b) Kesitin kritik durum üstünde olması halinde,

W, P olmak üzere 2 dir.

Bu durumda e eksantiritesi

$$e = y_1 - h' \quad (7.78)$$

7.5.1. Kritik altı kesitler

Bu kesitlerde 4 limit gerilmeye erişilebilmektedir.

e eksantritesi

$$e = e_{maks} \ll y_1 - h'$$

dir.

$W_1 = W_2$ olduğundan

$$W_2 = \frac{I}{y_2} = \frac{M_p - M_g}{\sigma_2 \sigma_{ce} + \sigma_1 \sigma_{ce}} \quad W_1 = \frac{I}{y_1} = \frac{M_p - M_g}{\sigma_{ce} + \sigma_3 \sigma_{ce}'}$$

den W_1, W_2, W hesaplanır.

h yüksekliği seçilip W hesaplanınca

$$I = W \cdot \frac{h^2}{2} \quad (7.79)$$

hesaplanır.

Sonra kesit tipine uygun bir ρ seçilerek

$$A = \frac{I}{\rho} \cdot \frac{h^2}{4} \quad (7.80)$$

şeklinde hesaplanır.

Püngerme kuvveti σ_G ağırlık merkezindeki gerilme ile

$$P = A \sigma_G \quad (7.81)$$

olarak hesaplanabilir.

$$\sigma_G = \frac{\sigma_{ce} - \sigma_3 \sigma_{ce}'}{2} \quad (7.82)$$

olarak hesaplanır.

e eksantritisite

$$e = k + \frac{M_g + \delta_1 \sigma_{ce}' W}{P}$$

şeklinde hesaplanabilir.

Kesitin dikdörtgen olması halinde

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{M_p - M_g}{\sigma_{ce+} \delta_3 \sigma_{ce}'} \quad (7.83)$$

hesaplanır.

e eksantritesinin $e \leq h/2 - h'$ olup olmadığı kontrol edilmelidir.

7.5.2. Kritik üstü kesitler

Kritik üstü kesitlerin tayininde sabit yükün etkisinin bulunduğu bilinmektedir. Buna göre kirişin kendi ağırlığı $d.A(kN/m-t/m)$ ile geri kalan sabit yük $g_2(kN/m-t/m)$ ve $p=g+q$ toplam yük hesapta gözönüne alınmalıdır. Kiriş açıklığı L verilince yüklerin verdiği momentler hesaplanabilir.

Kritik üstü kesitlerde bilinmeyen sayısı W, P olmak üzere 2 dir.

e eksantritesi ise

$$e_{maks} = h/2 - h'$$

$$e = h/2 - h' \quad (7.84)$$

alınır.

Kesitin q randımanı ve kesit yüksekliği h seçildikten sonra

$$y_1 = y_2 = h/2 \quad (7.85)$$

$$I = q \cdot A \frac{h^2}{4} \quad (7.86)$$

$$k = \frac{1}{2} q \cdot h \quad (7.87)$$

$$W = I (h/2) = q \cdot A \frac{h^3}{8} \quad (7.88)$$

bağıntıları bulunur.

M_p momenti ise

$$M_p = d \cdot A \frac{t^2}{8} + q_2 \frac{t^2}{8} + q \frac{t^2}{8} \quad (7.89)$$

hesaplanır.

(7.58) denkleminin her iki tarafı AK/P ile çarpılır e çözülürse ($K_2=K$)

$$e = -k + \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' \cdot W}{P} \quad (7.90)$$

bulunur.

Bu denklem (7.84) eşit olarak yazılırsa

$$h/2 - h' = -k + \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' \cdot W}{P}$$

$$P = \frac{M_p - \sigma_3 \sigma_{ce}' \cdot W}{(h/2 - h' + k)} \quad (7.91)$$

olarak hesaplanabilir.

A kesit alanı ise

$$A = \frac{(1.5 \frac{g_2}{g}) \cdot g \frac{l^2}{8}}{0,5 h [g \sigma_3 \sigma_{ce}' + (0,5 - e + 0,5 g) (\sigma_2 \sigma_{ce} - \sigma_3 \sigma_{ce}')] - d \frac{l^2}{8}} \quad (7.92)$$

hesaplanır.

Kesit tipine uygun g randımanı ve h kesit yüksekliği seçilip A hesaplanıp kesitin diğer büyüklükleri tespit edilebilir.

Kritik üstü kesitlerde aşağıdaki eşitliklerin sağlanması gerekir.

$$\frac{P}{A} - \frac{P_e}{A_k} + \frac{M_p}{W} = \sigma_2 \sigma_{ce} \quad (7.93)$$

$$\frac{P}{A} + \frac{P_e}{A_k} - \frac{M_p}{W} = -\sigma_3 \sigma_{ce} \quad (7.94)$$

P değeri σ_G ile

$$P = \sigma_G \cdot A \quad (7.95)$$

$$P = 0,5 [\sigma_2 \sigma_{ce} - \sigma_3 \sigma_{ce}'] A \quad (7.96)$$

hesaplanır.

P_e değerleri hesaplanıp (7.93) (7.94) eşitliklerde yerine konulur, eğer bu eşitsizlikleri sağlamıyorsa g randımanı seçilip hesaplar yenilenmelidir.

7.6. Kesitlerin Kritik Durumunun Önceden Hesabı

Bir kesit kritik altı durumda kabul edilip $e=e_{maks}$ eksantritesi hesaplandıktan sonra $e \leq y_1 - h^1$ şartını sağlayıp sağlamadığına göre kesitin kritik altı veya kritik üstü olduğu söylenebilir. (Özden, 1988)

Pratik olarak kritik üstü kesitlerdeki P kuvveti kritik altı kesitlerin P kuvvetinden daima büyüktür.

Buna göre,

$$r = M_g / M_p > \frac{y_1 - h^1 - k_1}{k_2 + y_1 - h^1} \quad (7.97)$$

bu eşitsizlikle sağ taraf kesit tipine h^1 tabidir. Fakat ortalama olarak bu değer;

Dikdörtgen kesitlerde 0.40

I kesitlerde 0.30

r 'nin bu değerlerden küçük olması halinde kesit kritik altı r 'nin bu değerlerden büyük olması halinde kesit kritik üstü durumdadır. g/p oranı yüksek köprü kirişlerinde 0.50 civarındadır.

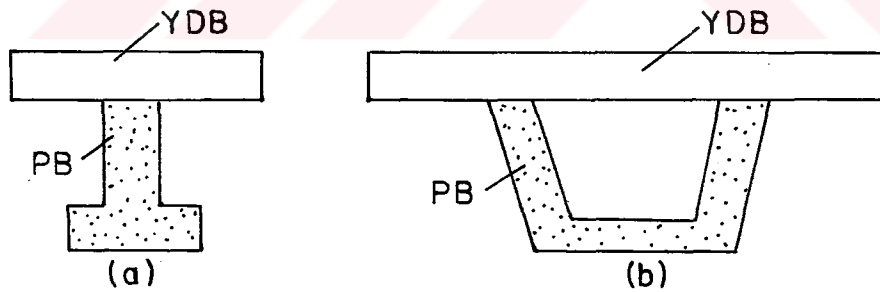
8. KOMPOZİT KİRİŞLER

8.1. Kompozit Kirişlerin Tanımı ve Tipleri

Öngerilmeli inşaatta kompozit elemanlar, kesitin bir kısmı öngerilmeli ve prefabrik olarak yapılıp; yapıda yerine oturtulduktan sonra kesitin diğer kısmının betonu dökülüp ve bu iki kısmın tek bir kesit gibi çalıştığı elemanlardır.

Kompozit inşaat, kısmen prefabrike eleman yapımının özelliklerine sahip olmak ve yapı yerinde büyük masraflar tutan iskele ve kalıp yapımını büyük ölçüde azaltmak gibi faydalar sağlayabilir (Özden, 1988).

Kompozit elemanların karayollarında kullanılan bazı tipleri Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1.

YDB Yerinde dökülen bileşen.

PB Prefabrik bileşen.

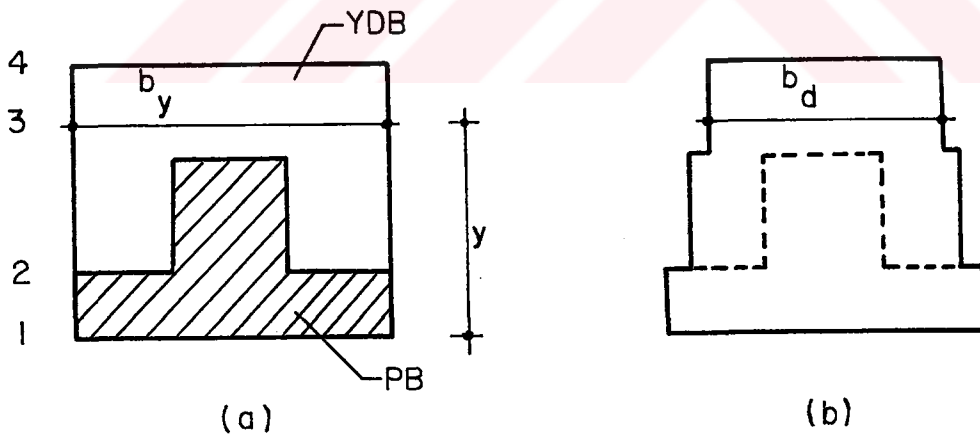
8.2. Kompozit Kesitlerin Hesap Esasları

Kompozit kesitlerin hesabı aşağıdaki kabullere göre yapılır.

- a) Şekil değiştirmeden önce düzlem olan kesit şekil değiştirmeden sonra da düzlem kalır.
- b) Kullanım safhasında kullanım yükleri altında (gerilme-şekil değiştirme) bağlantıları lineerdir. Ancak (PB) (YDB) bileşenlerinin beton kalitesi aynı olmadığı için bu iki bileşenin E_p, E_y elastisite modülleri farklıdır. (Özden, 1988)

Kompozit kesitlerin hesabı (YDB) bileşenin yüksekliğini sabit tutarak genişliğini elastisite modülü E_y yerine E_p olacak şekilde değiştirmek suretiyle basitleştirilebilir. Bu şekilde kompozit kesit beton kalitesi (PB) betonu kalitesinde olan bir kesite dönüşmüş olacağı için artık bu kesite bilinen hesap metodlarının uygulanabileceği açıktır.

Bu dönüşüme misal olmak üzere Şekil 8.2'de gösterilen kompozit kesit gözönüne alınсын.



Şekil 8.2.

(PB) nin alan A_p

(YDB) nin alan A_y

$$\alpha = E_y/E_p$$

(8.1)

Kompozit kesitte tabandan itibaren bir y mesafede (YDB) bileşenindeki b_y genişliğinin denk kesitte Şekil 8.1.b.

$$b_d(y) = \alpha \cdot b_y \quad (8.2)$$

Buna göre denk kesit alanı

$$A_d = A_p + \alpha \cdot A_y \quad (8.3)$$

olur.

Denk kesitin ağırlık merkezinin tabandan olan uzaklığı y_{1d} ise

$$y_{1d} = \frac{A_p \cdot y_{1p} + A_y \cdot y_{1d} \cdot \alpha}{A_d} \quad (8.4)$$

y_{1p} (PB) nin ağırlık merkezinin

y_{1y} (YDB) nin ağırlık merkezinin

şeklin tabanından olan uzaklıklarıdır.

Denk şeklin kendi ağırlık merkezinden geçen ve simetri eksenine dik eksene göre atalet momenti I_d

$$I_d = I_p + A_p (y_{1d} - y_{1p})^2 + \alpha [I_y + A_y (y_{1y} - y_{1d})^2] \quad (8.5)$$

şeklinde hesaplanır. Daha sonra W_{1d} , W_{2d} mukavemet momentleri bulunur.

9. BASİT MESNETLİ BİR KIRIŞTE KABLO GEÇİŞ BÖLGELERİ

Basit mesnetli bir kirişte kirişin her kesitinde e eksantrisitesinin

a) Kritik altı kirişlerde

$$e_{\min} = -k_2 + \frac{M_p - \delta_3 \sigma_{ce} W_1}{P} \leq e \leq k_1 + \frac{M_q + \delta_1 \sigma_{ce} W_2}{P} \quad (9.1)$$

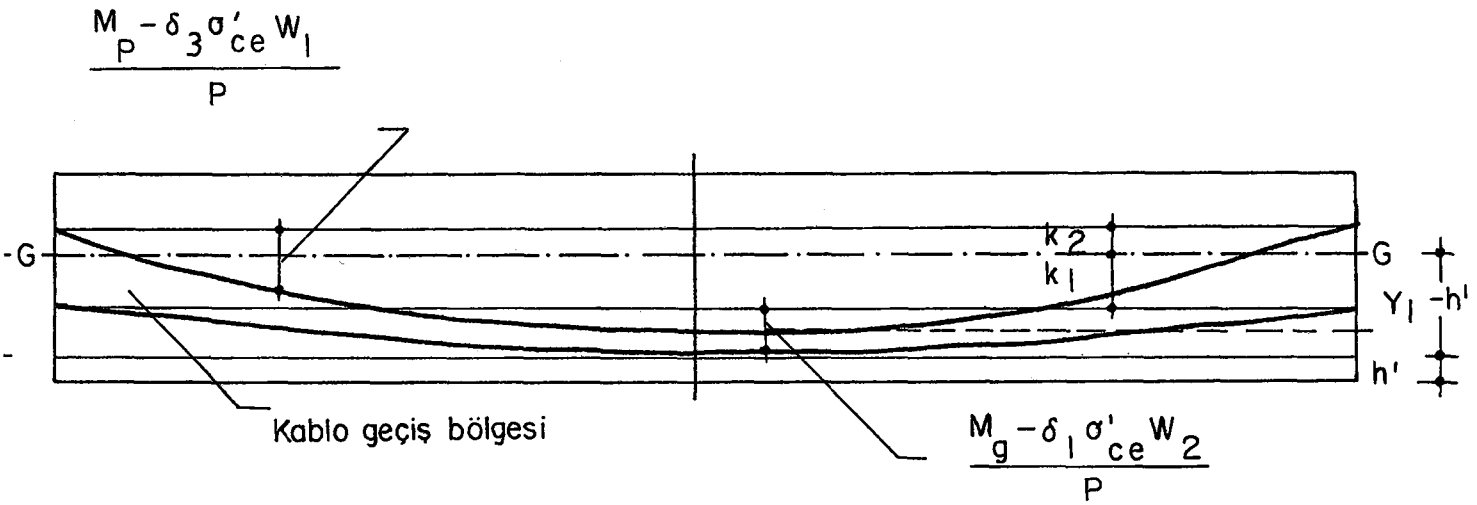
b) Kritik üstü kirişlerde

$$e_{\min} = -k_2 + \frac{M_p - \delta_3 \sigma_{ce} W_1}{P} \leq e \leq k_1 + \frac{M_q + \delta_1 \sigma_{ce} W_2}{P} \leq y_1 - h \quad (9.2)$$

Burada e ideal kablounun ekseninin eksantrisitesidir. Kesitte genel olarak 4 veya 5 ve bazen de daha fazla kablo vardır ve bunların her birinin eksen eğrisi maksada göre birbirinden farklıdır. Her bir düzey kesitte bu kabloların her birindeki kuvvetlerinin bileşkesinin yeri o kesitte ideal kablo ekseninin yeridir.

(9.1) ve (9.2) şartları e eksantrisitesi için kiriş boykesitinde bir aralık belirler. Bu aralığa kablo geçiş bölgesi denilebilir (Üzden, 1988).

Bahiskonusu aralığın belirtilmesi için (9.1) ve (9.2) ifadelerinden görüldüğü gibi önce kiriş boyunca üst ve alt çekirdek noktalarının geometrik yerleri çizilir. Bu geometrik yer yüksekliği sabit kirişlerde kiriş üst ve alt kenarına paralel bir doğrudur.

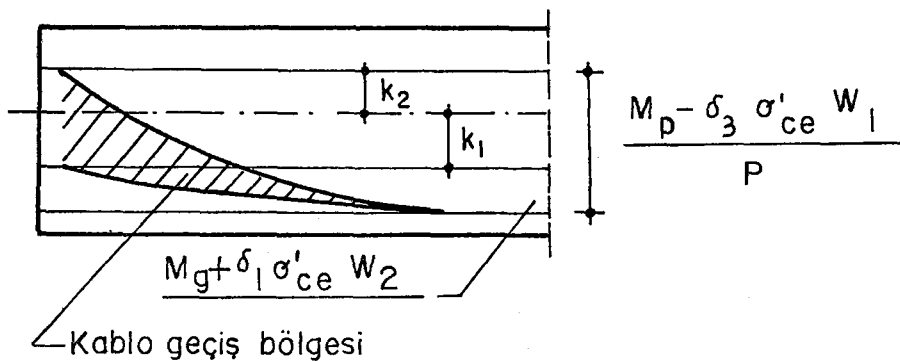


Şekil 9.1.

Her kesitte üst çekirdek noktasından aşağıya doğru $(M_p - \delta_3 \sigma'_{ce} W_1)/P$ kadar olarak bulunan çizgi ile alt çekirdek noktasından aşağı doğru $(M_g - \delta_1 \sigma'_{ce} W_1)/P$ kadar olarak bulunan çizginin belirttiği aralık kablo geçiş bölgesidir.

Kritik üstü kirişlerde alt sınıır, kirişin orta kısımlarında $(y_1 - h')$ çizgisi ile belirir.

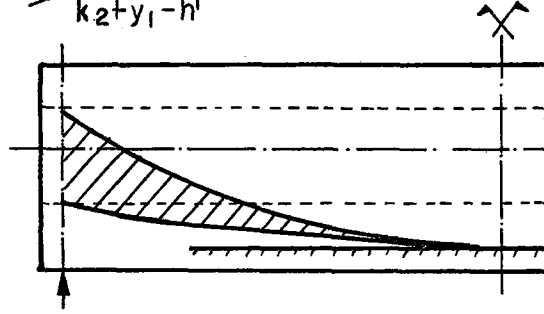
Orta kesitin, kritik altı kritik ve kritik üstü olmasına göre kablo geçiş bölgeleri Şekil (9.2), (9.3), (9.4)'de gösterilmiştir.



Şekil 9.2.

Kritik altı kesit

$$P = \frac{M_p - M_g}{k_1 + k_2} > \frac{M_p}{k_2 + y_1 - h'}$$



(9.3)

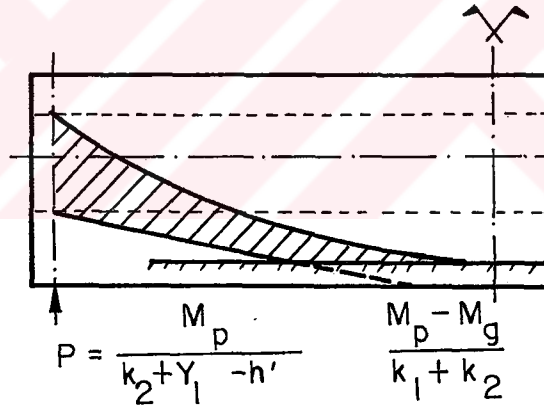
$$P = \frac{M_p - M_g}{k_1 + k_2} = \frac{M_p}{k_2 + y_1 - h'}$$

Şekil 9.3.

Kritik kesit

$$P = \frac{M_p - M_g}{k_1 + k_2} = \frac{M_p}{k_2 + y_1 - h'}$$

(9.4)



Şekil 9.4.

Kritik üstü kesit

$$P = \frac{M_p}{k_2 + y_1 - h'} > \frac{M_p - M_g}{k_1 + k_2}$$

(9.5)

(9.3), (9.4), (9.5) ifadelerinden anlaşılacağı üzere bu ifadelerde ki P kuvvetlerinden hangisi büyükse o minimal kuvvet olarak alınır.

$$\frac{M_p}{k_2 + y_1 - h'} > \frac{M_p - M_g}{k_2 + k_1}$$

ise

kesit kritik üstü

$$\frac{M_p - M_g}{k_1 + k_2} < \frac{M_g}{k_2 + y_1 - h'} \quad \text{ise}$$

kesitin kritik altı olduğu bu ifadelerden de anlaşılmaktadır.

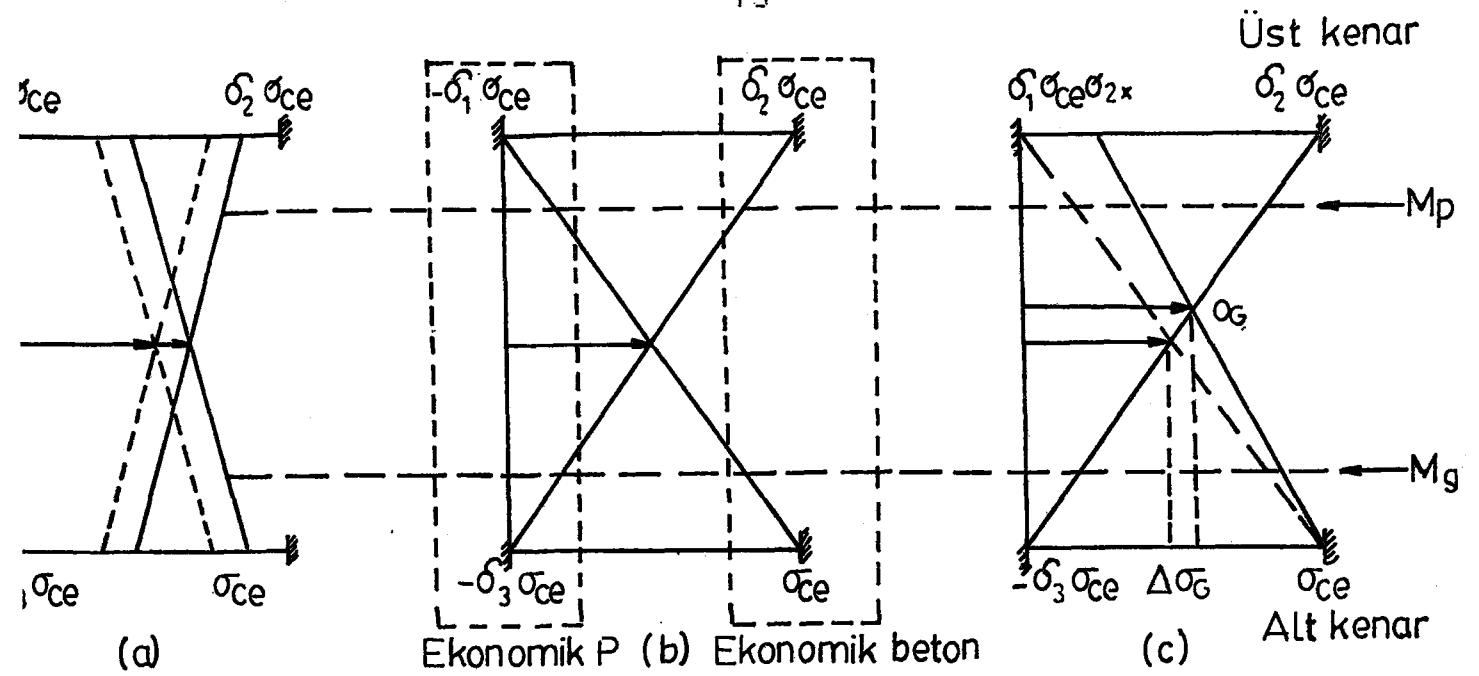
10. EKONOMİK KESİT

Öngerilmeli beton yapılarla çelik konstrüksiyonlar arasında nispeten bir paralellik mevcuttur. Her ikisinde de kesitin tamamından faydalanmak prensiptir. Şu halde basit bir fikir yürütmekle çelik yapılarda kullanılan kesitlere benzer kesitlerin teorik olarak öngerilmeli beton yapılarda da ekonomik olacağı açıktır. ρ kesit randımanı bu bakımdan önemli bir karakteristiktir (Celasun, 1974).

$$\rho = I / (A \cdot y_1 \cdot y_2) = i^2 / (y_1 \cdot y_2) \quad (10.1)$$

kesrin payındaki ifade çok anlamlıdır. Demek oluyor ki, kesitin atalet yarıçapı ne kadar büyük olursa kablo kuvveti o kadar küçülecektir. Hiç değilse bu bir eğilimin ifadesidir. Atalet yarıçapı büyük kesitler alanlarının büyük kısmı başlıklarında toplanmış kesitlerdir. Örneğin **I** ve **T** kesitleri gibi y_1 y_2 nin minimum olabilmesi yani ρ kesit randımanının bu bakımdan da büyüebilmesi için $y_1 + y_2 = h$ olduğu hatırlanırsa $y_1 = y_2 = h/2$ veya hiç değilse $y_1 \approx y_2$ olmalıdır. Kısaca bu bakımdan kesit, form olarak simetrik veya simetriye yakın seçilmelidir.

Bu bakımdan probleme daha genel bir çehre vermek için üst life ait kabul edilebilir; minimum ve maksimum gerilmeleri $\delta_1 \sigma'_{ce}$, $\delta_2 \sigma_{ce}$ ile alt life ait kabul edilebilir; minimum ve maksimum gerilmeleri $-\delta_3 \sigma'_{ce}$ ve σ_{ce} ile gösterildi (Şekil 10.1).



Şekil 10.1.

Ekonomik bir çözüm elde edebilmek için sınır gerilmelerinden tam olarak yararlanmak gerekir; sınır gerilmelerinden yararlanılmadığı ve kesitin gereğinden büyük seçildiği Şekil 10.1.a'daki durumda kesik çizgili gerilme durumu daha ekonomik olacaktır. Çünkü ağırlık eksen gerilmesi σ_G daha küçülecek dolayısıyla $P = A\sigma_G$ öngerilme kuvveti buna paralel olarak daha küçük olacaktır. Demek oluyor ki minimum gerilmelerden yararlanmak öngerilme kuvvetinin ekonomik olması bakımından lüzumludur. Bu duruma Şekil 10.1.b'de işaret edilmiştir. Beton bakımından ekonomik kesit, üst sınır gerilmelerinden yararlanılması yüksek gerilmelere maruz beton alanının tüm alan yanında önemli yekün tutması ile mümkündür. Dört sınır gerilmesinden tam olarak yararlanabilmek ancak kritik altı kesitler için söz konusu olabilir (Şekil 10.1.b). Kritik üstü kesitlerde ise $-\delta_3\sigma'_{ce}$ σ_{ce} , sınır gerilmelerinden tam olarak yararlanmak bu suretle betondan ekonomi sağlarken aynı zamanda kablo kuvvetinden de mümkün olan maksimum tasarrufu elde etmektedir. Bu halde kablo kuvveti ekonomik kablo kuvvetinden $\Delta P = \sigma_G A$ kadar daha fazla olacaktır (Şekil 10.1.c).

11. ÖNGERİLMELİ BETONDA GERİLME KAYIPLARI

Kablo ucunda uygulanan ilk öngerme kuvveti aşağıda gösterilen etkilerle öngerme elemanı boyunca değer kaybeder.

- Kabloda ve ankrajdaki sürtünme kayıpları.
- Sıkıştırıcı oturması sonucu meydana gelen kayıplar.
- Öngerme çeliğinin rölaksasyonu.
- Betonun rötre ve sünmesi
- Betonun elastik kısalması (VSL Öngerme, 1984).

11.1. Sürtünme Kayıpları

Bir öngerme elemanı boyunca sürtünme kayıpları Coulomb halat sürtünme yasası yardımıyla saptanır.

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-(K L_k + \mu \alpha)} \quad (11.1)$$

$P(x)$ = Germe noktasından x uzaklığındaki öngerme kuvveti.

P_0 = Germe noktasındaki öngerme kuvveti.

e = Doğal logaritma tabanı.

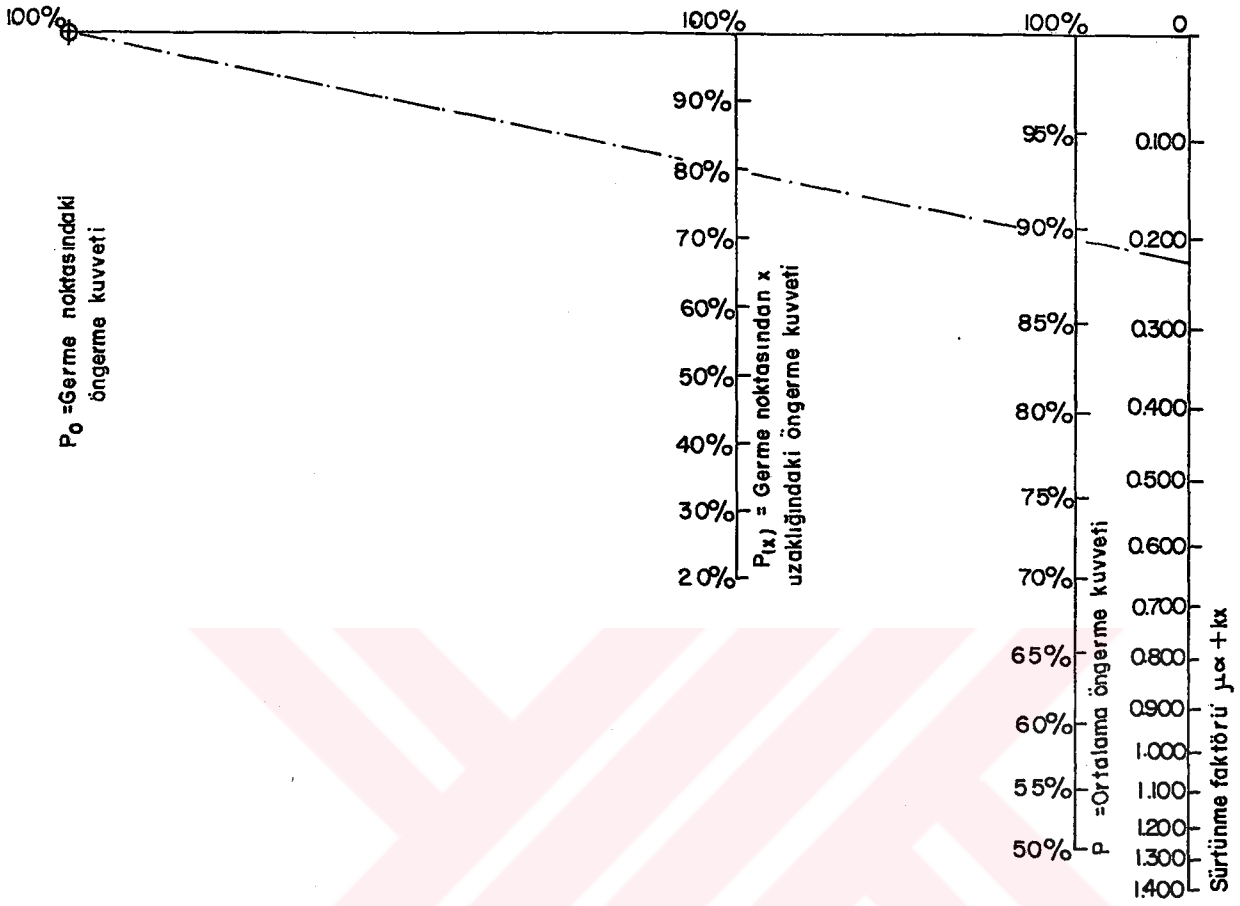
μ = Sürtünme katsayısı.

α = Açıklığı üstündeki tüm dönüş açıları toplamı (radyan cinsinden).

K = Birim uzunluktaki istenmeyen dönüşler için sürtünme katsayısı.

Kuvvet akışının saptanması Coulomb yasasının ardışık uygulanmasıyla ya da basit olarak

Şekil (11.1) nomogram yardımıyla yapılır.



Şekil 11.1.

μ ve K sürtünme katsayıları bir yandan öngerme çeliği ve kullanılan kılıf borusu tipine öte yandan öngerme elemanının yapım biçimine bağlıdır.

YSL öngerme sisteminde genelde uygulanabilen sürtünme katsayılarının saptanması, orjinal boyutlardaki modeller üzerinde bir dizi laboratuvar testleri ve şantiyelerdeki çok sayıda kontrollerle yapılmıştır. Ölçümler sonucu aşağıdaki değerler bulunmuştur ve bu değerler kullanılmaktadır.

μ Katsayısı	Değişim Aralığı	Ortalama Değer
a) Normal metal kılıf borular içindeki kablolar	0.16 - 0.22	0.19
b) Eğri olarak döşenen yarı rijit kılıf boruları içine yerleştirilen kablolar.	0.13 - 0.19	0.16
K Katsayısı (metre başına)	$(0.6 - 1) 10^{-3}$	0.8×10^{-3}

Pratikte normal olarak ortalama değer kullanımı yeterlidir. Aksi halde gerilme hesabında uç değerlerin etkisini incelemek gerekecektir.

Öngerme elemanı boyunca meydana gelen sürtünme kayıplarına ek olarak germe makinası ve ankrajda da kayıplar olur. Bu nedenle germe işlemi sırasında monometrenin göstergesindeki kuvvet, gereken değerde düzeltilmelidir.

Germe kayıpların büyüklüğü kablo ünitesine ankraj tipine ve kullanılan germe makinasının biçimine göre değişir. Bu öngermenin derecesine de bağlıdır. Değerler periyodik olarak atölye testleriyle kontrol edilmektedir. Germe makinası içindeki kayıplar monometrenin gösterdiği değer % 1-3'ünü bulmakta ankrajdaki sürtünme kayıpları %2-4 dolayında kalmaktadır.

11.2. Sıkıştırıcı Oturması (Kama Kayması)

Halatların ankraj kafasına kamalanmasında sıkıştırıcılar 6 mm. lik sabit bir boyda gömülürler. Bu değer kablo ünitesinden halat çapından ve öngerme çeliğinin niteliğinden bağımsızdır. Kablo sürtünmesi sonucu kuvvet kaybının doğrusal olduğu kabul edilirse W , ΔP değerleri şöyle bulunur.

$$L_s = \sqrt{\Delta L_c \cdot E_s \cdot A_{ps} / \Delta p} \quad (11.2)$$

$$\Delta P = 2\Delta p W \quad (11.3)$$

ΔL_c = Sıkıştırıcı oturması = 0.006 m.

E_s = Öngerme çeliğinin elastisite modülü (KN/m²)

A_{ps} = Öngerme çeliği kesit alanı.

Δp = 1 m. de öngerme kuvveti kaybı (KN/m) = $(P_0 - P_L)/L$

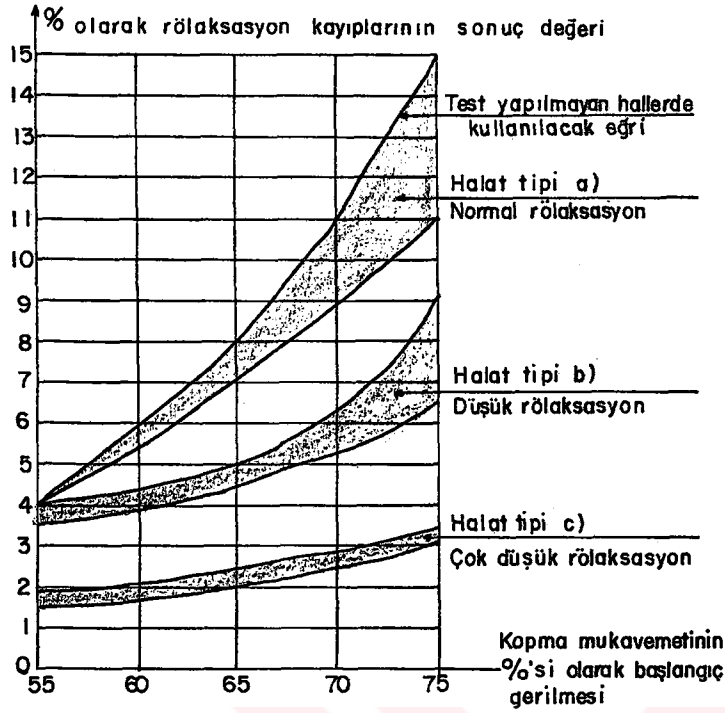
11.3. Öngerme Çeliğinin Rölaksasyonu Sonucu Oluşan Kayıplar

Belirli bir kuvvetle gerilmiş ve sonra sabit uzunlukta tutulmuş bir öngerme elemanında zamana bağlı gerilme kayıpları rölaksasyon olarak adlandırılır. Burada öngerme çeliğinin niteliğine, imal biçimine göre değişen malzeme özelliği söz konusudur. Belirli bir çelik için rölaksasyon esas olarak başlangıçtaki gerilmeye ve çevre ısisına bağlıdır.

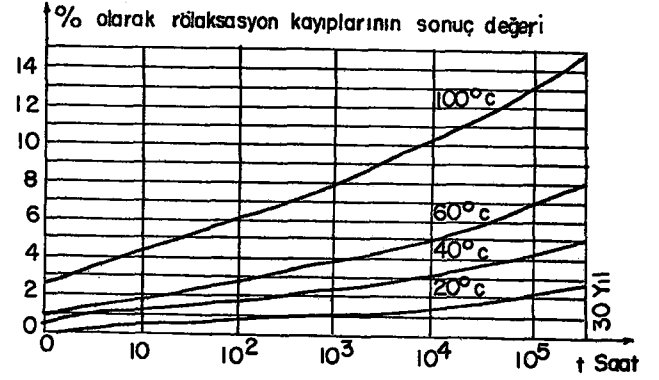
Öngerilme halatlarında 3 tür rölaksasyon ayırdedilir.

- a) Normal rölaksasyon
- b) Düşük rölaksasyon
- c) Çok düşük rölaksasyon.

Bugün genellikle çok düşük rölaksasyonlu halatlar kullanılmaktadır. Şekil 11.2 20°C lik çevre ısisında rölaksasyon kayıplarının sonuç değerlerini vermektedir. Şekil 11.3 çok düşük rölaksasyonlu halatlarda ısı etkisini göstermektedir.



Şekil 11.2.



Şekil 11.3.

11.4. Betonun Rötire ve Sünmesi Sonucu Oluşan Kayıplar

Bu kayıpların hesabında en iyi yol ülkede yürürlükte olan normların uygun gördüğü verilerin ya da CEB/FIB gibi özel literatürün esas alınmasıdır.

Aşağıdaki CEB/FIB şartnamesinin verilerine göre temellendirilen eşitlikler ile Şekil 11.4 ve Şekil 11.5 sabit gerilme altında rötire ve sünme sonucu oluşan kayıpların yeterli bir kesinlikte elde edilmesini sağlamaktadır.

$$\Delta P_{c+s} = 100 \cdot (\Delta \sigma_{p,c+s} / \sigma_{p0}) \quad (11.4)$$

$$\Delta \sigma_{p,c+s} = (\epsilon_{s00} E_s + n \cdot \phi_{\infty} \cdot \sigma_{c,p0+g}) / (1 - n(\sigma_{cp0} / \sigma_{p0})(1 + \phi/2)); n = E_s / E_c \quad (11.5)$$

ΔP_{c+s} = Rötre ve sürtünme sonucu kayıpların sonuç değeri %.

$\Delta \sigma_{pc+s}$ = Rötre ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı (N/mm²)

σ_{po} = Öngerme çeliğindeki başlangıç gerilmesi (N/mm²)

σ_{pco} = Yalnız öngerme sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki ilk beton gerilmesi (N/mm²)

σ_{cpo+g} = Öngerme zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi.

E_s = Öngerme çeliğinin elastisite modülü.

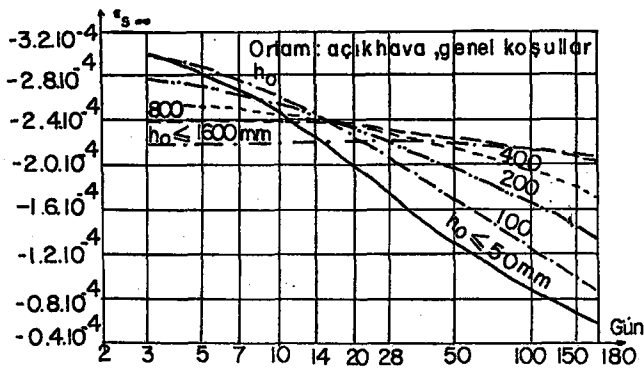
E_c = Betonun elastisite modülü.

$$h_0 = 1.5 \frac{2A}{U} \quad (11.6)$$

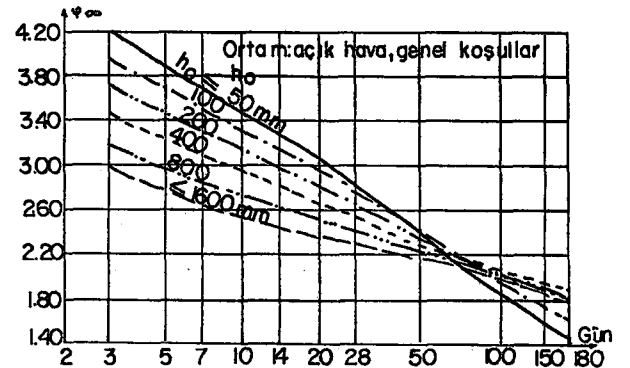
h_0 = Etkin yükseklik

A = Beton kesit alanı.

U = Yapının atmosfere açık olan çevresi.



Şekil 11.4



Şekil 11.5

11.5. Betonun Elastik Kısalmısından Oluşan Kayıplar

Betonun elastisite modülü

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{cjk}} + 14000 \text{ Nt/mm}^2 \quad (11.7)$$

ile hesaplanır; çeliğin elastisite modülü $E_s(2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)$ alınırsa elastik kısalma kaybı öngerme donatısı ağırlık merkezi seviyesindeki beton gerilmesinin E_s/E_{cj} ile çarpımından hesaplanacaktır.

12. KARAYOLLARINDA KÖPRÜ, VİYADÜK YAPIMINDA KULLANILAN ÖNGERİLMELİ KİRİŞ VE TABLİYELERİN İNCELENMESİ

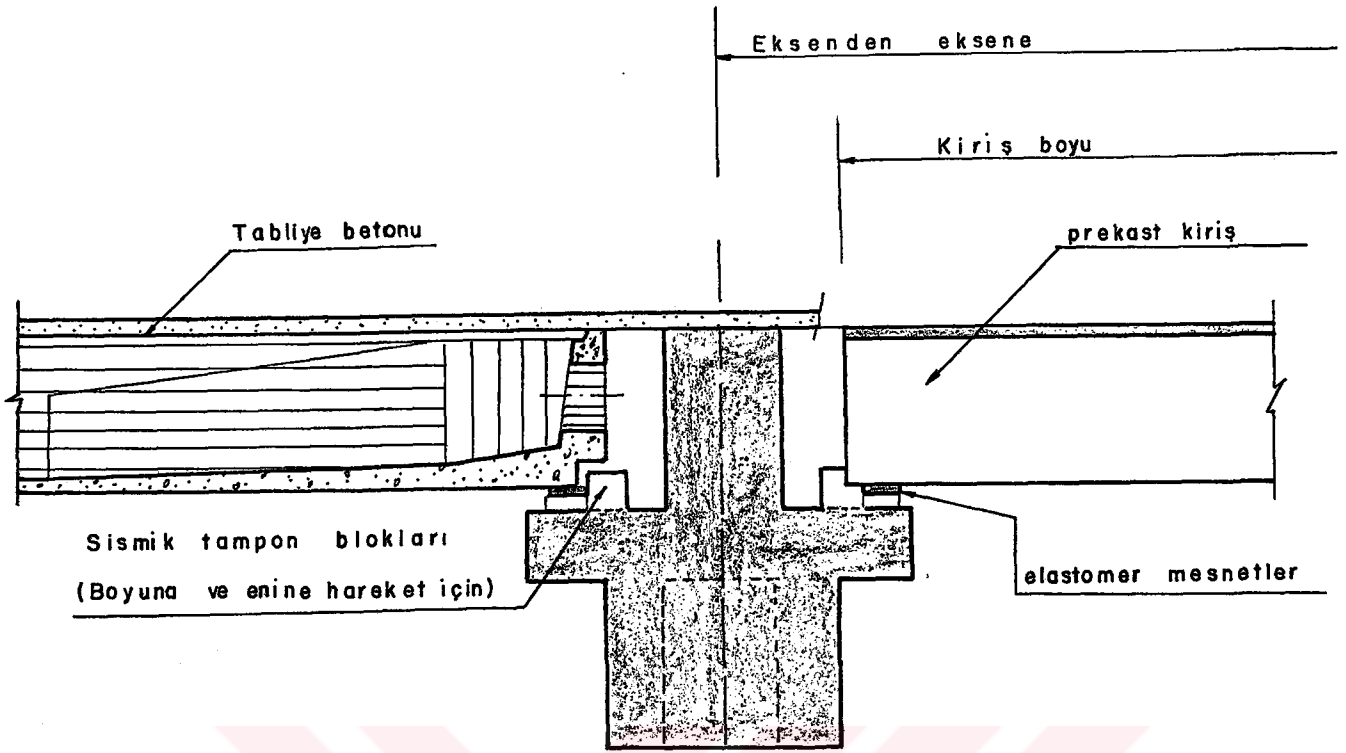
12.1. Yapı Sistemlerinin Seçimi

Yapı sistemlerinin seçiminde muhtelif etkenler söz konusudur. Bir yapıyı meydana getiren elemanlar ve yapı kısımları arasındaki bağlar ne kadar fazla, yani yapı ne derece monoblok (yekvücut) ise yapının o derece sağlam olacağı muhakkaktır. Ancak bazı hallerde yapıya etkiyen bazı tesirleri yapı emniyeti bakımından tesirsiz hale getirme için yapıyı bazı bağlarından kurtarmak daha yararlı ve daha emniyetli olur. Bundan dolayı sistemler hiperstatik veya izostatik seçilir. Sistem seçimlerini mesnet şartları, ekonomik şartlar ve temel şartları etkiler (Celasun, 1974).

12.1.1. Mesnet şartları

Mesnetler betonun fluajı ve rötresini ve ısı karşısında genleşmesi sonucu doğacak deformasyonları betonda çekme gerilmeleri ve aşırı basınç gerilmeleri meydana getirmeden karşılayacak tertipte olmalıdırlar.

Karayollarında yapılan viyadük ve köprü inşaatında mesnetler yarı sabit yarı hareketli mesnetler şeklinde tertip edilirler. Örneğin kauçuk (elastomer) mesnetler böyledir. Bu mesnetler dış kuvvetlerin tesirlerini karşılayacak kadar rijit fakat büzülme ve uzamaların tesirlerini karşılayabilecek kadar da hareket kabiliyetine sahiptirler (Şekil 12.1).



Şekil 12.1

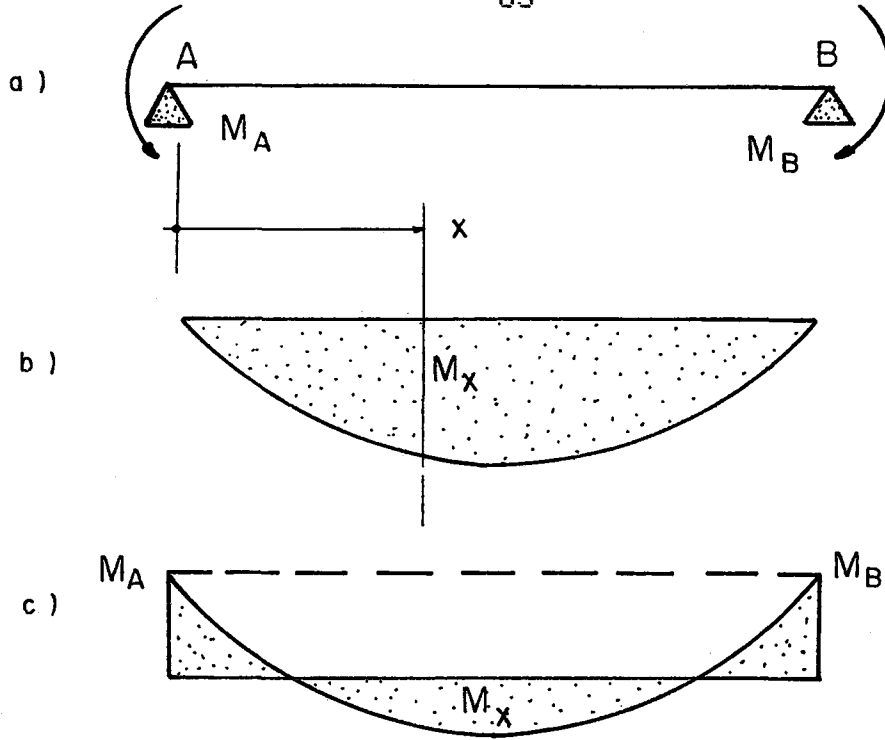
12.1.2. Ekonomik sebepler

Hiperstatik yapıların izostatik yapılara nazaran daha ekonomik olacakları açıktır. Yapılan masrafların en büyük kısmı eğilme momentlerini karşılamak içindir. Şekil 12.2.a'da basit kiriş eğilme momentini karşılamak için yapılacak masraf,

$$M_x dx = j_1 \quad (12.1)$$

orantılı sayılabilir. Aynı kabul mesnetlerin ankastre kısmı ankastre veya çıkmalı olması halinde kirişte meydana gelmesi muhtemel olan moment yayılımı için yapılırsa bulunacak olan masraf $M_x dx = j_0$ alanı ile orantılı sayılabilir (Şekil 12.2.b).

Bu durumda j_0 'ın j_1 'den küçük olacağı açıktır. Bu halde, hiperstatik sistemler izostatik sistemlere nazaran daha ekonomik olur.



Şekil 12.2.

12.1.3. Temel şartları

Sistemlerin hiperstatik veya izostatik olarak seçiminde zemin ve temel şartları çok önemli etkenlerdir. Çökme (tasman) yapabilen zayıf zeminlerde eğer sağlam zeminlere istinat etmek mümkün olmuyorsa basit mesnetli izostatik sistemlere gitmek hesabı mümkün olmayan risklerden kaçınmak bakımından uygun olur.

Sağlam ve kayalık zeminlerde hiperstatik ve özellikle itkili sistemlere gitmek uygun olur.

Ülkemizdeki karayollarında hiperstatik olarak yapılan viyadük ve köprüler iki yöntemle yapılmaktadır.

- Ankorbelmanla köprü inşaatı.
- Son zamanlarda köprü ve viyadük yapımında uygulanan sürme yöntemi.

Ankorbelmanla köprü inşaatının esas bir köprü tabliyesini birbirlerini takip eden belirli boydaki parçalarla inşa etmektir. Bu parçalar bir ayağın her iki tarafına simetrik olarak yahut dengelenmiş bir sahil kenar ayağından itibaren mutakabilen inşa edilirler. Parçaları birbirlerine sıkıştırarak bir bütün olarak çalışmasına imkân veren, öngerilme bu inşaat tarzına özellikle uygundur denilebilir.

Ankorbelman yöntemiyle yapılan viyadük ve köprülerde kesit kutu kesittir. Bunun sebebi inşaat safhasındaki negatif momentlere daha emniyetle karşı koyabilmek, torsiyona karşı mukavim olabilmektir.

Ülkemiz coğrafi yapısı itibariyle, çok kuvvetli akıntısı olan akarsulara, büyük debili taşkınlara maruz nehirlere, büyük uçurumlu vadilere sahiptir. Bundan dolayı bunlar üzerinde yapılacak köprü viyadük inşaatında kalıp iskelesi yapımı pahalı, tehlikeli hatta imkânsızdır, bu sebeple, ankorbelman yöntemiyle köprü ve viyadük yapımı ülkemiz bakımından önemlidir.

Elazığ Malatya Devlet yolunda bulunan Fırat nehri üzerindeki Kömürhan köprüsü ülkemizde bu yöntemle yapılan ilk köprüdür. Kömürhan köprüsünün orta açıklığı 135 m., kenar açıklıkları ise 76'şar metredir.

Uzun köprü ve viyadük yapımında kullanılan sürme yöntemi yerinde dökme beton ve öndöküm beton yapım yöntemlerinin iyi taraflarını birleştiren son yıllarda bilhassa Batı Avrupa'da çok yaygın olarak kullanılan ekonomik ve hızlı bir yapım yöntemidir (Kurşun, 1990)

Burada ana prensip yapıyı kenar ayaklardan bir tanesinin arkasında bu amaçla özel olarak hazırlanmış özel beton döküm yerinde bölümler halinde döküp kalıcı yerine doğru sürmektir. Yeni dökülen bölümün bir önce dökülen bölüme bağlantısı öngerilme ve betonarme donatısıyla rijit olarak yapılır. Ayrıca iç derzindeki beton yüzeyleri pürüzlü kılınarak kaynaşmasının daha iyi olmasına yardım edilir.

Sürme sırasında kesit tesirlerini ölçülü sınırlar içerisinde tutabilmek gereksiz ve hiç de ekonomik olmayan boyutlandırılmalarından kaçınmak için üst yapının ucuna hafif genellikle üst

yapıya bağlantısı, hem değişik işaretlerdeki eğilme momentlerini hem de kesme kuvvetlerini aktaracak şekilde öngerilme kabloları yardımıyla gerçekleştirilir.

Sistemin önemli özelliklerinden birisi de yapım toleranslarının klasik yöntemlere kıyasla çok daha az olması ve çok dikkatli ölçüm çalışmasını gerektirmektedir.

Sürme yönteminin ülkemizde ilk uygulamaları;

- Akşemsettin Viyadüğü

Boy = 557 m.

Max. Açıklık = 58 m.

- Hasdal Viyadüğü

Boy = 325 m.

Max.Açıklık = 58 m.

- Sadabad I Viyadüğü

Boy = 789 m.

Max.Açıklık = 58 m.

- Molla Gürani Viyadüğü

Boy = 499 m.

Max.Açıklık = 58 m.

Sürme yöntemiyle yapılan Akşemsettin Viyadüğü planda yarıçapı $R=1500$ m'lik bir yatay kurbada bulunmaktadır.

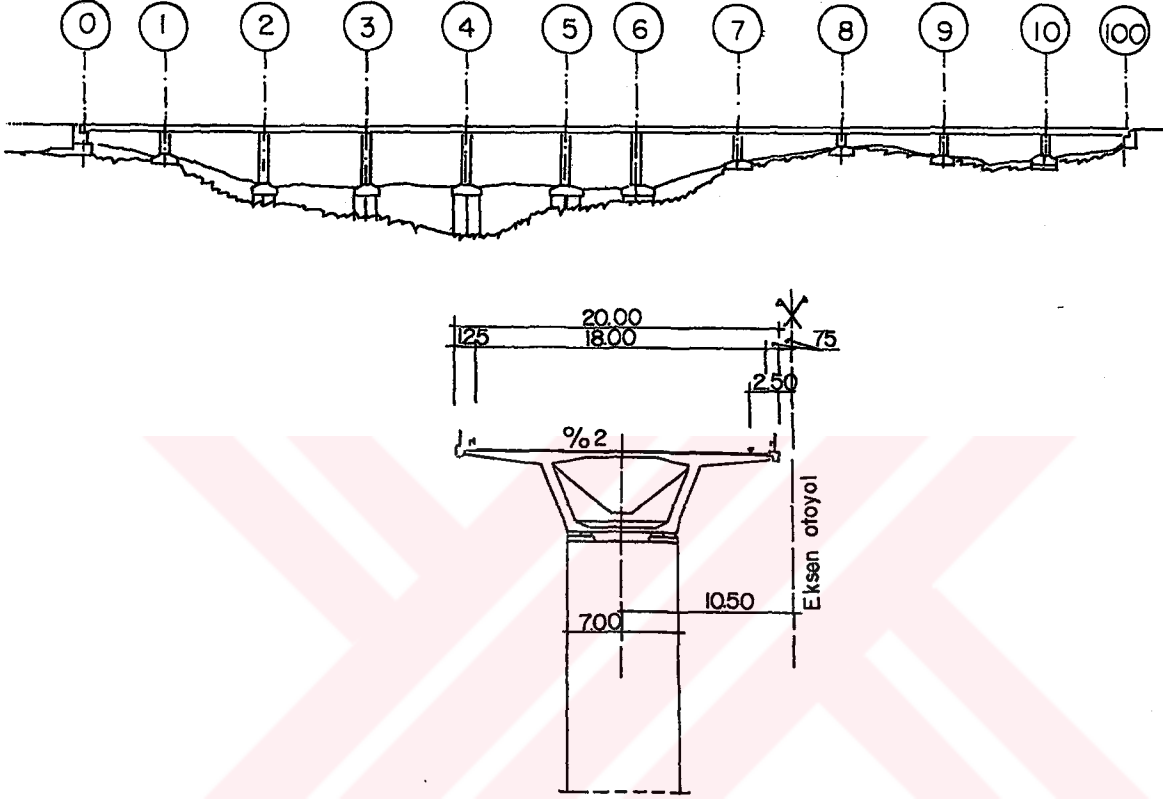
Sürme yönteminin kolaylıkla uygulanabilmesi için yapının plandaki geometrisi çok önemlidir. Yapı eksenini doğrusal olabileceği gibi sabit yarıçaplı dairede olabilir. Yapı güzergahında klotoid gibi değişken yarıçaplı eğriler varsa ana kirişlerin teşkil ettiği gövde sabit yarıçaplı bir eğri üzerinde sürülüp klotoidden sapmalar üst tabliyedeki konsolların boylarını ayarlamak suretiyle dengelenebilir.

Akşemsettin Viyadüğü %2.1 eğimli doğrusal bir profile sahiptir. Sürme işlemi iniş yönünde gerçekleştirilmiştir. Akşemsettin viyadüğüne ait boykesit ve enkesit değerleri Şekil 12.3 de gösterilmiştir.

Bir segment boyunca enkesiti iki veya üç adımda dökmek mümkündür. Şekil 12.4'de görüldüğü gibi alt döşemeyi dökmek sonra yan gövde kirişlerini dökmek son olarak ta üst döşemeyi dökmek suretiyle üç etapta tamamlanır. En çok uygulanan yöntem ise alt döşeme ve yan

gövde kirişlerini bir kerede dökmek sonra da ikinci etapta üst döşemeyi dökmektir (Şekil 12.4).

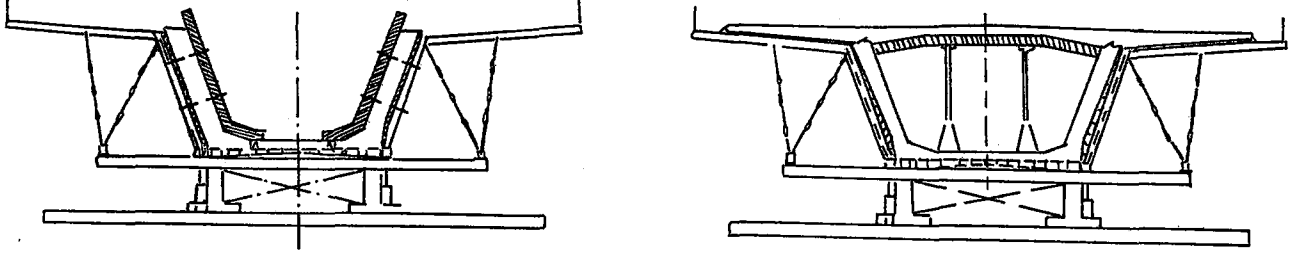
Ülkemizdeki viyadüklerde bu ikinci sistem uygulanmıştır. Şekil 12.5'de enkesitlerin iki etapta dökülmesi hali için kalıp sistemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 12.3.



Şekil 12.4.



Şekil 12.5

Bugün öngerilmeli bir köprünün maliyetine etkiyen ana faktörleri iskele, kalıp-makina ekipmanı, malzeme ve işçilik masrafları olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.

Yapım teknolojilerindeki bütün gelişme ve ilerlemelere rağmen iskele ve kalıp maliyetlerinin yapının maliyeti içerisindeki payı %20- %30 mertebelerini bulmaktadır. Ancak sürme yöntemi;

- Küçük bir makina parkı,
- Defalarca kullanılabilecek ve hep aynı yerde bulunan kalıp iskele,
- Yapım süresi kısalığı,
- Malzemenin taşınması kolaylığı,
- Tekrar edilen işçilik,
- Hava şartlarından bağımsızlık

gibi özellikleriyle her ne kadar biraz fazla malzeme kullanımı gerektiriyorsa da toplam yapı maliyetinde %5- %10 mertebesinde tasarruf sağlayabiliyor.

Kullanılan makina ve teçhizatın çok kolaylıkla benzer projelerde kullanılabirliği sebebiyle bizim gibi gelişmekte olan ülkeler için büyük bir önem arzeder.

Sürme yöntemiyle bir haftada bir segment bu iki haftada bir açıklık diye düşünülebilir. Hızlı bir tempo ile klasik yöntemlerle yapılan yapılara kıyasla daha güvenli ve daha ekonomik uzun köprüler ve viyadükler inşa etmek mümkündür. Yurdumuzda Kınalı Sakarya Otoyolu projesinde başarı ile uygulanmıştır.

Kınalı Sakarya Otoyolu projesindeki viyadük, alt ve üst geçitlerde, izostatik U kesitli kirişler kullanılmıştır. Aras karayolu köprüsünde (Hasret köprüsü) kullanılan kirişler ise I kesitlidir.

Kınalı Sakarya otoyolu projesinde kirişler önceden germe yöntemiyle imal edilmiştir. Kiriş imalatıyla ilgili kalıplar tümüyle çelik olup kafa kalıbı taban kalıbı yan kalıplar ve iç kalıplar olmak üzere dört ana parçadan oluşmaktadır.

İmalat önceki hazırlıkların başında kiriş demirlerinin uygun olan yerlerinden CO₂ gazı altında 1,2 mm. kaynak teli ile puntalanması ve yine projeye uygun olarak yaklaşık yirmişerlik gruplar halinde paletlenmesi gelmektedir. Daha sonra temizlenip yağlanmış olan taban kalıbına her kiriş için gerekli palet kadar demir dizilir.

Kiriş döküm yatağında dört imalat bölümü vardır. Bunlara ait kafa kalıpları da demir ile birlikte taban kalıbına dizilirler. Daha sonra ise halatların çekilmesi sabit kafa tarafından hareketli kafa yönüne doğru gene projeye uygun olarak çekilmeye başlanır. Halat çekimi tamamlandıktan sonra halatlardaki boşluklar 7500 kN kapasiteli iki büyük kriko ile alınır ve bilezikleri takılarak emniyete alınır.

Halatlar tek tek alttan başlayarak yanlara doğru sağlı sollu kısmi öngerilme olan ana germenin %30'u kadar bir yük ile gerilir. Ana gerilme 26.7 N/mm² halatlar 7 telden olduğundan kısmi gerilme 8-8.5 N/mm² dir.

Gerilme işlemine müteakip paletler halindeki etriyeler dağıtılarak projeye uygun bağlanırlar. Bu esnada yan ve iç kalıplar temizlenerek dökülecek olan kiriş hizasına çekilirler. Yan kalıplar hidrolik pistonlar vasıtasıyla itilerek iki taraflı kapatılırlar. Böylece beton

dökümüne başlamak için tüm işlemler tamamlanmış olur.

Beton döküm işlemi kirişin kafa tarafından gövdelerden birinden başlar. Döküm betonun iç kalıbın altından geçip öteki gövdede yükselmesine kadar devam eder. Alt vibratörleri çalıştırırken ilk başlanan gövdede beton devam eder diğer kafaya doğru yavaşça ilerlenilir.

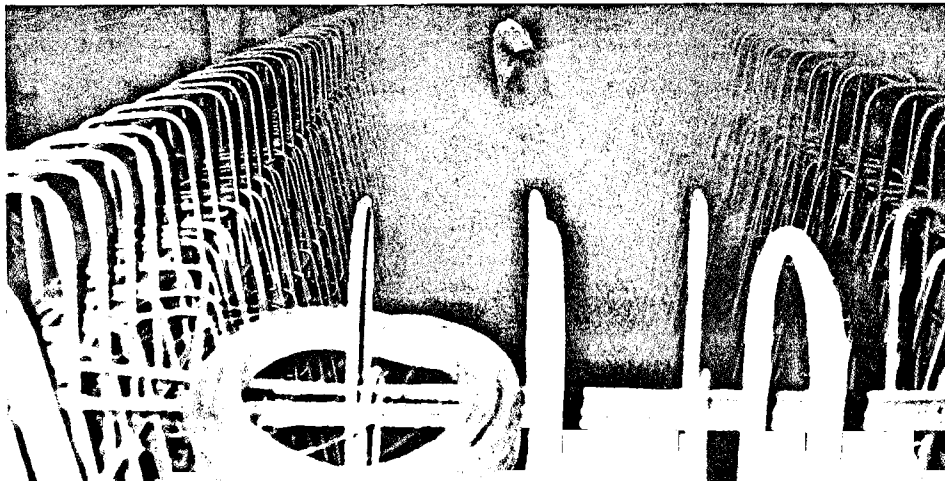
Bu gövdede betonun tamamen akması sınırlı tutulur ve ilk başlanan yere dönülür. Her iki gövdede ilk kafa tamamlanır. Bu esnada yan kalıptaki üst vibratörler çalıştırılır. Bu periyod iç kalıptaki montaj kirişlerinin ara mesafeleri boyunca bir diğer araya geçilip o gövdeden betonun devam etmesi şeklinde sürer ve diğer kafada son bulur.

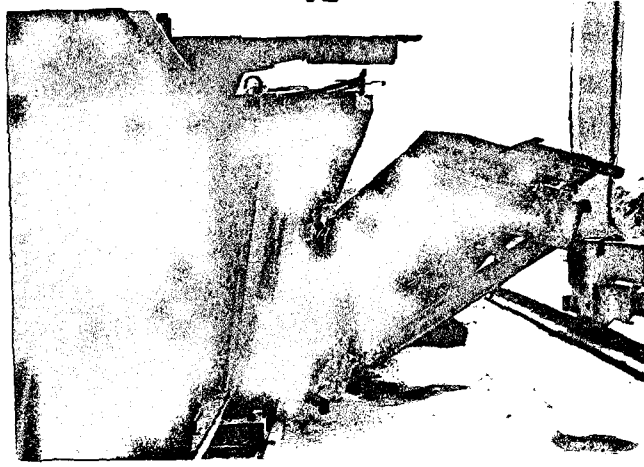
Kalıpların söküm işlemi kalıp montajının tersi yönünde iç kalıp sökümüyle başlar. Beton mukavemeti 100 N/mm^2 veya döküm sonrası 18 saat sonunda olmalıdır. Bunlar sağlandığında iç kalıp alındıktan sonra yan kalıplarda açılır ve diğer kiriş için hazırlık işlemlerine başlanılır. Beton kürlmesi su ile veya mukavemeti hızlandırmak için buhar kürün ile yapılır. Bu sayede 1 haftada 4 kiriş döküebilir (Söymen, 1990).

Yataktaki dördüncü kiriş döküldükten sonra transfer mukavemeti dediğimiz halat boşaltma mukavemeti laboratuvarca alınan numunelerin kırılarak elde edilmesine kadar beklenir. Bu mukavemet 34.5 N/mm^2 dir. Bu ortalamaya 48 saatte ulaşılmaktadır.

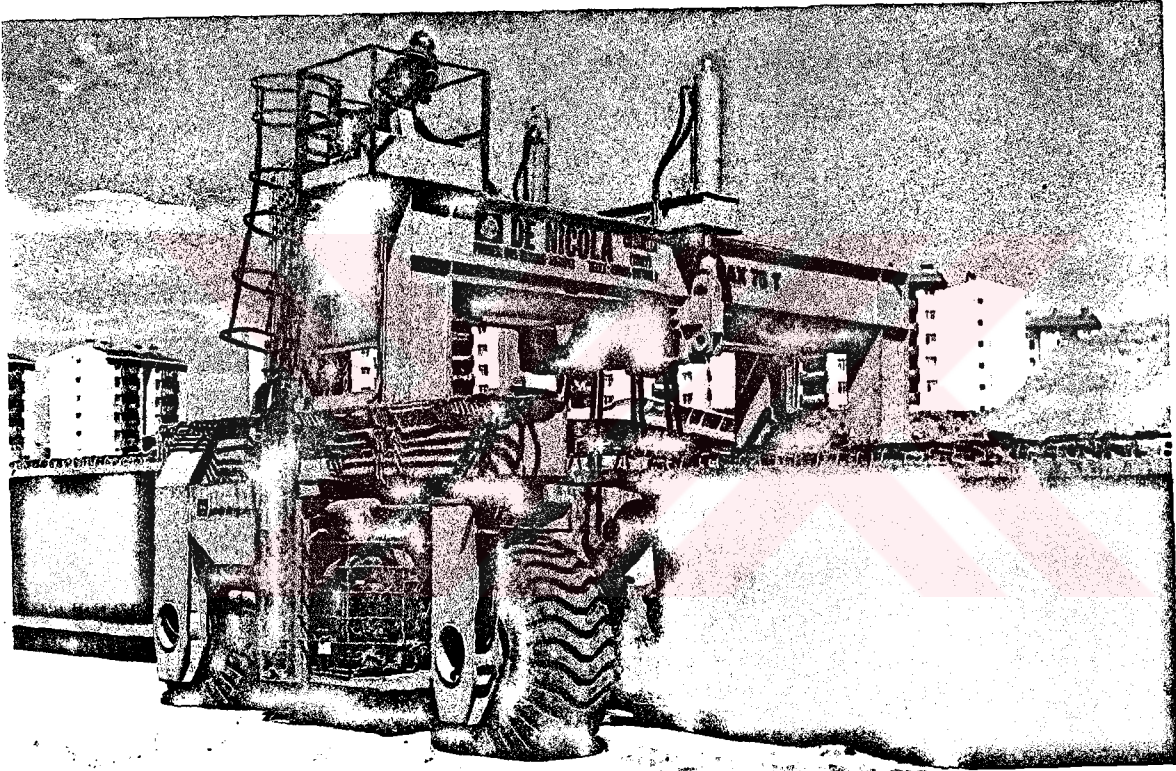
Bütün işlemler tamamlandığında kirişler yataktan sahadaki 800 kN kapasiteli portal vinçler ile kaldırılır; stok yerinden de 750 kN' luk mobilliftler vasıtasıyla ya stoka ya da yapı bölümüne taşınır.

U kesitli kirişlerin imalatıyla ilgili resimler aşağıda verilmiştir.

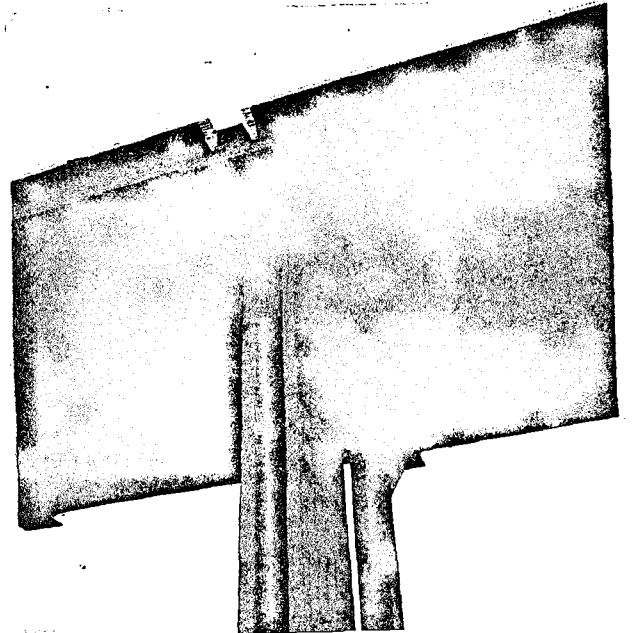
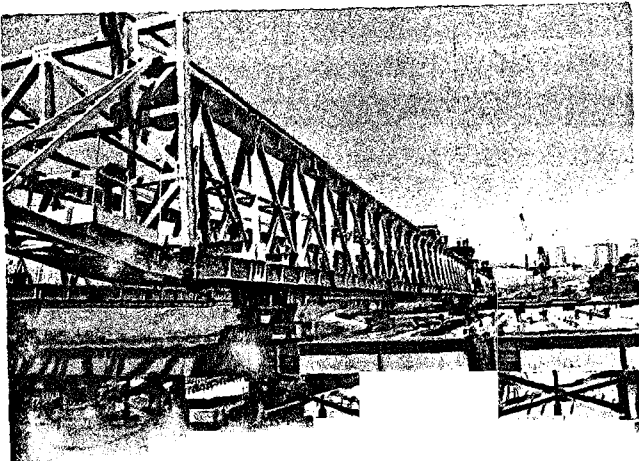




2 - Prekast kiriş dış kalıbı.



3 - Kiriş taşıyıcı.



12.2. Aras Nehri Üzerinde Yapılan Hasret Köprüsünün İncelenmesi

Köprünün ayaklarının bulunduğu zeminin jeolojik ve jeomorfolojik durumu şöyledir.

Çalışma alanı ve çevresi engebesiz düz bir ovadır. Çalışma alanının denizden yüksekliği 795 m. dir. Sondaj çalışmalarının yapıldığı kesimin kenarından akmakta olan Aras nehri Bingöl dağlarından doğar, Türkiye Nahcivan sınırında kuzeyden gelen Arpaçayla birleştikten sonra Iğdır Ovasına girer. Doğuda Aşağı Karasu Çayı ile birleştiği noktadan itibaren Türkiye sınırları dışına çıkar (TCK 12. Bölge Müdürlüğü, 1985).

Sondaj çalışmaları Aras nehrinin taşıdığı kuaternen yaşlı alüvyonlarla kaplı dil bölgesinde yapılmıştır. Aras nehri jeolojik devirlerde olduğu gibi bugün de çok fazla miktarda çökel taşımaktadır. Bu sayede ovada geniş ve kalın bir alüvyon oluşmuştur. Temel sondajlarında elde edilen verilere göre bu bölgede yüzeyde ince kum bantları içeren tabana doğru kil oranı artan pliosen yaşlı mavimtrak gri renkli sert az siltli kil birimleri tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar neticesinde izostatik sistem seçimi daha uygun olmuştur.

12.2.1. Kirişlerin imalatı

Kirişler sonradan germe yöntemiyle imal edilmiştir. Kirişlerdeki halatların gerilmesi VSL sistemiyle yapılmaktadır.

VSL öngerme sisteminin özellikleri ise;

- Çekme elemanı olarak halat kullanılması,
- Uygulamada kolaylık,
- Değişik çap ve kalitede halatın kullanılabilirliği,
- 10000 kN'a kadar kopma mukavemetine sahip standart kablo üniteler,

- Bir kablonun tüm halatlarının aynı anda gerilmesi her halatın ankraja teker teker kamalanması,
- Tüm isteklere cevap verebilecek çeşitlilikte ankraj tipleri,
- Rasyonel yöntem uygun malzeme ve basit aletlerin kullanılması,
- Kablonun betonlamadan sonra teşkil edilebilmesi,
- Kabilonun istenen aşamada veya etaplarda gerilmesi,
- Aynı prensibin kablo boşaltılmasında toprak veya kaya ankrajında ağır yükleri kaldırma ve yer değiştirmede de uygulanmasıdır (YSL, 1984).

Kirişlerin kesitleri alt tablası üst tablasından geniş olan I kesitidir. Kirişlerde 4 adet 5-12 üniteli öngerme halatı bulunmaktadır.

12.3. Otoyollarımızda Uygulanmakta Bulunan Kompozit Köprülerin Özel Problemleri

Otoyol inşaatlarımızda son beş yıldır çok sayıda uygulanmakta olan kompozit köprü tipi prefabrik öngermeli U kesitli beton kirişlerin üretilip yerlerine taşındıktan sonra üzerlerine genellikle 25 cm. kalınlıkta bir betonarme döşeme dökülmesi ile meydana getirilmektedir. Ülkemizde kullanılan öndökümlü kiriş yükseklikleri 1,20 m., 1,70 m., 2,00 m. dir. Bunlarla geçilebilecek max. açıklık 40 m. dir. Üst döşeme birkaç açıklık üzerinde sürekli olabilmekle beraber sistem düşey yükler bakımından basit tek açıklıklardan oluşuyor kabul edilebilmektedir. Almanya gibi bazı ülkelerde orta ayaklar üzerinde sonradan germe kullanılarak veya sadece betonarme donatıları yardımı ile kirişlerin sürekliği sağlanmaktadır.

Memleket ekonomisinde ve özellikle inşaat sektörü alanında önemli bir yer tutmaya başlayan bu sistemi bize empoze edildiği gibi aynen uygulamak yerine beş senelik ülke

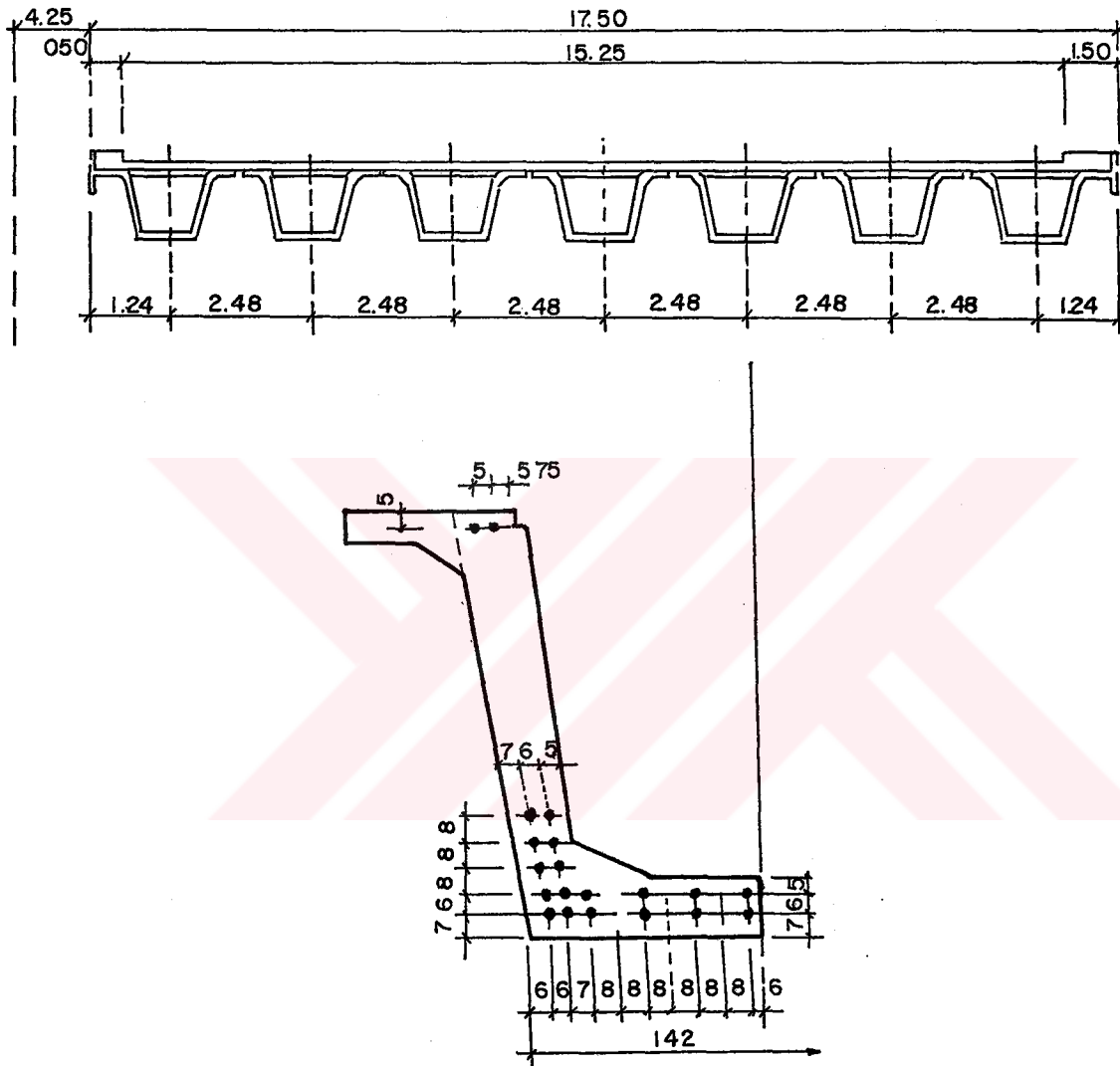
deneyimden elde edilen sonuçları da gözönünde tutarak ve dış ülkelerde bu konudaki çalışmalardan yararlanarak daha rasyonel, ekonomik ve estetik çözüme gidilmesi gerekmektedir (Celasun, 1991).

Sistemin özel problemleri ise şöyle sıralanabilir:

- Buhar kürünün beton ve öngerilme üzerine etkisi.
- Öngerilme kayıplarının doğru tahmini.
- Uygulanacak öngerilme sınıfının iyi seçilmesi.
- Malzeme ve işçilik optimizasyonu.
- Seri imalat ve taşıma şartlarının iyi tayini.
- İnşaatın sürati.
- Özellikle üst döşemede betonarme donatısı miktar ve tertibi.
- Mesnet enlemesi veya benzeri takviyeleri.
- Çatlak genişliği sınırlaması.
- Yatay kayma kuvvetlerinin karşılanması.
- Yatay yük analizinde hassasiyet.
- Ankraj bölgelerinin hassas etüdü.
- Yerev köprülerde burulma analizi.
- Yorulma.
- Momentlerin yeniden dağılımı.
- Kullanılabilirlik ve dayanıklılık.
- Estetik.

12.3.1. Sistemin etüdü

Şekil 12.6'da sistemin tipik enkesiti ve öngerilme donatıları görülmektedir.



Şekil 12.6.

Sistemin avantajları ise;

- Kesintisiz bir üst yüzey.
- Optimal bir eğim düzgünlüğü (taşıt dinamiği).
- Optimal bir yüzey düzgünlüğü (köprü izolasyonu).

- Temaslı bir yerleştirme.
- Prekast eleman derzlerinin basit olarak sağlanan geçirimsizliği.

Prekast bir üst yapı maliyeti şu faktörlere bağlıdır.

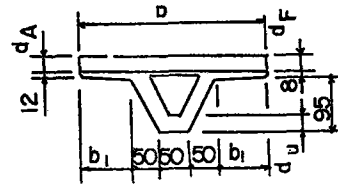
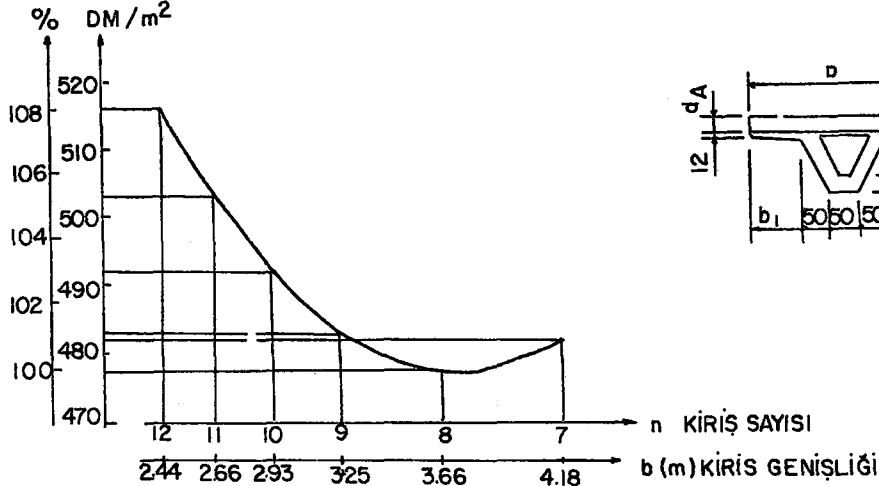
- Prekast eleman üretimi: Beton, beton çeliği, öngerme çeliği, kalıp, aksesuar, (atölye masrafları)
- Prekast elemanın taşınması: Yükleme, boşaltma, elefant, treyler, gerekirse refakat aracı masrafı.
- Prekast eleman montajı: Kreyn, montaj kirişi, montaj yardımcı elemanları, destekler, vidalı veya hidrolik krikolar.
- Yerinde beton dökme işleri: Beton, beton çeliği gerekirse öngerme çeliği, kalıp, iskele, güvenlik önlemleri.
- Genel giderler: Testler dahil teknik çalışmalar, şantiye idaresi, işletme ve tahliyesi, araç masrafları, trafik ve güvenlik önlemleri, kamusal masraflar, gerekirse lisans ücretleri.

Bu sayılan faktörler sadece malzeme tasarrufunun çok etkili olamayacağını göstermektedir.

$L = 23$ m. açıklık için n kiriş sayısına bağlı olarak imal taşıma ve montaj maliyeti

optimizasyonu Şekil 12.7'de grafik halinde Alman literatüründen alınarak gösterilmiştir.

MALİYET (1986 FİYATLARI)



Şekil 12.7.

12.3.2. Türkiye'den örnek

Adana Gaziantep otoyolunda projeleri ve inşaatı Türk mühendis ve müteahhitleri tarafından yapılmakta bulunan bu tip köprülerden 10 tanesi gözönünde bulundurularak köprü tabliyesinin bir metrekaresi için BS45, BS30 betonları, S420 beton çeliği ve S1770 öngerme çeliği miktarları çıkarılarak Tablo 12.1'de verilmiştir.

Bu sonuçlara göre;

Toplam taşıyıcı beton : $0.676 \text{ m}^3/\text{m}^2$

S420 Betonarme çeliği = $1.10 \text{ kN}/\text{m}^2$

S1770 Öngerme çeliği = $0.19 \text{ kN}/\text{m}^2$

Tablo 12.1.

Köprü tabliyesi birim alan başına:

BS45 betonu (prekast)	$0.400 \text{ m}^3/\text{m}^2$
BS30 betonu (yerinde dökme)	$0.276 \text{ m}^3/\text{m}^2$
Toplam taşıyıcı beton	$0.676 \text{ m}^3/\text{m}^2$
S420 betonarme çeliği	$110 \text{ kg}/\text{m}^2$
S1770 öngerilme çeliği	$19 \text{ kg}/\text{m}^2$

Taşıyıcı betonun birim hacmi başına:

S420 betonarme çeliği	$1.62 \text{ kN}/\text{m}^3$
S1770 öngerilme çeliği	$0.29 \text{ kN}/\text{m}^3$

13. ÖNGERİLMELİ ELEMANLARIN LİNEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYONU

Tipik öngerilmeli kiriş kesitleri Şekil 13.1'de gösterilmektedir. Dizayn değişkenleri; beton boyutlarını, öngerilme kuvvetini (P_0) (ya da öngerilme kuvveti ile orantılı olarak çelik miktarını) ve e eksantritesini içerir.

Birçok durumlarda beton boyutları önceden belirlenmiş parametrelerle tahmin edilebilir. Böylece dizayn için gerekli değişkenler azaltılarak optimal dizayn basitleştirilir. Öngerilme dizaynında genelde aşağıdaki sınırlamaları alınabilir (Kirsch, 1981).

a) Normal Gerilme

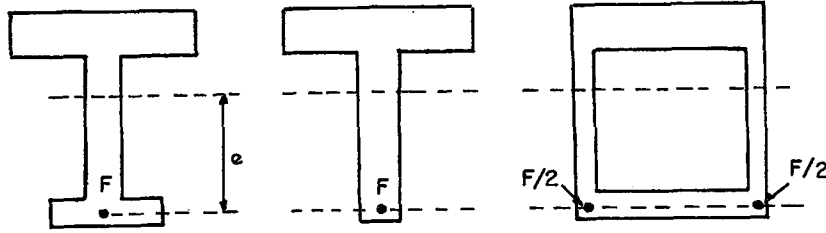
$$\sigma'_{ce} < \sigma < \sigma_{ce} \quad (13.1)$$

σ = Normal Gerilme

σ_{ce} = Betonun basınç emniyet gerilmesi (aktarma, kullanma safhası)

σ'_{ce} = Betonun çekme emniyet gerilmesi.

Bu sınırlamalar her türlü yükleme şartları ve elemandaki bütün kritik noktalar için belirlenmelidir. Geçiş noktalarında ve her türlü yükleme durumlarındaki kayıplardan sonraki gerilmeler kontrol edilmelidir.



Şekil 13.1.

b) Kesme Kuvveti

$$V^L \leq V \leq V^U \quad (13.2)$$

Bu sınırlamalar sadece az sayıdaki belli kritik noktalar ve yükleme durumları için belirlenmelidir.

c) Sehim

$$d^L < D < d^U \quad (13.3)$$

d^L ve d^U sehimin alt ve üst sınırlarıdır. Bu değerler genellikle açıklığın 500 de biridir ($L/500$). Bu sınırlamalar ölü ve hareketli yükler altında açıklığın ortasındaki sehimler için belirlenebilir.

d) Maximum Moment

$$M_p < M^m \quad (13.4)$$

M_p = Ölü ve hareketli yüklerden dolayı özel yük faktörlerini de ele alarak bulunan max. dizayn moment.

M^m = Kesitin maximum moment kapasitesi.

Bu veriler ışığında kritik enkesitler ve yüklemeler önceden tespit edilebilir. Bu değişkenler inşaat için minimum pratik boyutları ve ulaşım, mimari tasarım ve dizayn değişkenleri arasındaki ilişki için maximum boyutları yansıtabilir.

$$Z = C_c A + C_f P_0 + C_p A_r \quad (13.5)$$

şeklindeki fonksiyon malzemenin ve kalıbın maliyetini ifade edebilir.

A = Enkesit alanı.

A_r = Enkesit çevresi.

C_c = Betonun birim fiyatı.

C_f = Öngerminin birim fiyatı.

C_p = Kalıbın birim fiyatı.

(13.1)(13.5) eşitlikleri Penalty-Function methodu ile çözülebilecek nonlinear bir programlama oluşturulabilir.

Goble ve Lopay benzer bir dizayn probleminin nümerik sonuçları üzerinde çalıştılar ve önemli bir sonuç olarak optimum dizaynın maliyet katsayıları ile nispeten alakasız olduğunu gösterdiler.

Genel olarak optimum dizaynın maliyet parametrelerindeki çok büyük değişimlerde dahi aynı seviyede kalır. Dizayndaki değişiklikler onun maliyetinde çok küçük değişiklikler meydana getirebilir.

Nümerik olarak çözülmüş örnekler, değişken sayısının azaltılabildiğini göstermiştir. Bu sonuçlara göre önerilmeli yapı elemanlarının optimizasyonunun basit bir yaklaşımla ifade edilebileceği anlaşılmış ve lineer bir programlama ile formülize edilebileceği düşünülmüştür.

13.1. Lineer Programlama

Magnet, öngerme kuvvetinin ve eksantritenin lineer olarak ifade edilebileceğini ve bunları optimize etmenin (özellikle kompleks sistemlerde) lineer bir programlama şeklinde mümkün olduğunu göstermeye çalışmıştır.

Dış yüklere ve öngerilme kuvvetine maruz basit bir kiriş ele alalım. Dizayn değişkenleri olarak (e) eksantritesi ve ilk öngerme kuvveti (P_0) seçilir. Sadece normal gerilme ve sehim sınırlamaları gözönünde bulundurulur. Kesme kuvveti P_0 ve e 'nin oluşumunda kritik değeri olmadığı için gözönüne alınmayabilir.

Objektif fonksiyon (Z)'yi minimize edecek şekilde germe kuvvetini (P) seçtikten sonra geriye (P_0) ve (e)'yi bulmak kalır. Yani,

$$Z = P_0 \text{ — (min)} \quad (13.6)$$

$$\sigma'_{ce} \leq -(\eta.P_0/A) \pm ((M-\eta.P_0.e)/W) \leq \sigma_{ce} \quad (13.7)$$

$$d^L \leq d^R + \eta.P_0.e \leq d^U \quad (13.8)$$

$$e \leq e^U \quad (13.9)$$

$$0 \leq P_0$$

$$X = P_0 \cdot e \quad (13.10)$$

(13.7) Bütün kritik noktalar ve yüklemeler için belirlenebilir.

M = Dış yüklerden oluşan moment.

η = Öngerilme kayıplarından dolayı katsayı.

A = Enkesit alanı.

W = Kesitin mukavemet momenti.

(13.8) Genelde kritik enkesitler için belirlenir.

d^r = Yüklemeden dolayı oluşan sehim.

s = Sabit katsayı.

Eğer $X = P_0 \cdot e$ olduğunu kabul edersek problem lineer bir programlamaya dönüşür. X ve

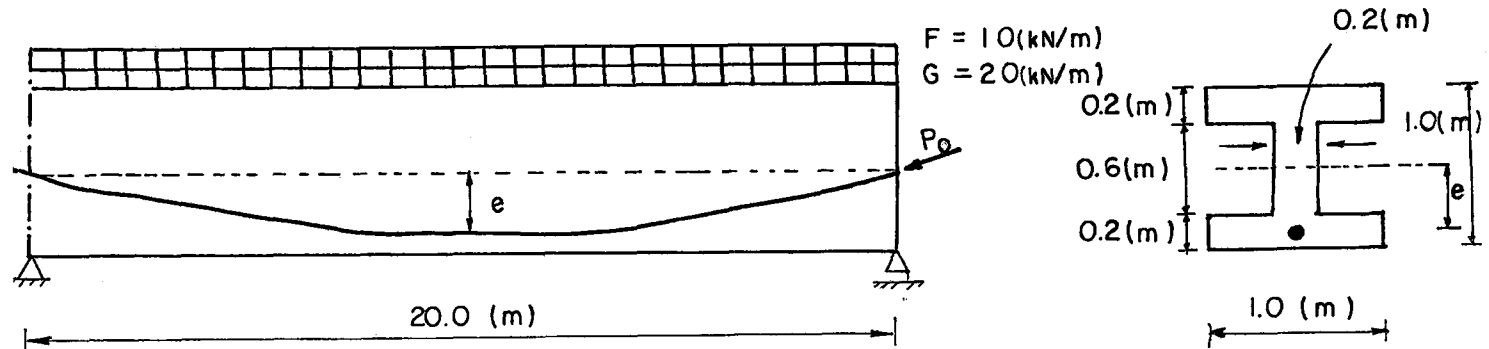
P_0 optimize edildikten sonra e eşitlikten kolayca bulunabilir.

Konuyu anlamak için Şekil 13.2'de verilen öngerilmeli basit bir kiriş gözönüne alalım.

Burada iki yükleme durumu ele alınabilir.

a) $G + P_0$ ($\eta = 1$)

b) $G + P + 0.8 P_0$ ($\eta = 0.8$)



Şekil 13.2.

Aşağıdaki parametreler veriliyor.

Kesit alan	$A = 0.52 \text{ m}^2$
Kesit mukavemeti	$W = 0.1187 \text{ m}^3$
Müsaade edilen sehim	$d^U = 0.02$
Max. eksantirite	$e = 0.4 \text{ m}$
Atalet momenti	$I = 0.0593 \text{ m}^4$
Elastisite modülü	$E = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

Aktarma safhasında:

Max. Basınç Gerilmesi	$\sigma_{ce} = -16000 \text{ kN/m}^2$
Max. Çekme Gerilmesi	$\sigma'_{ce} = 0$

Kullanma safhasında:

Max. Basınç Gerilmesi	$\sigma_{ce} = -11000 \text{ kN/m}^2$
Max. Çekme Gerilmesi	$\sigma'_{ce} = 0$

$$\text{Yükleme (a)} = -16000 \leq -P_0/0.52 \pm (1000-X)/0.1187 \leq 0$$

$$\text{Yükleme (b)} = -11000 \leq -0.8 P_0/0.52 \pm (1500-0.8X)/0.1187 \leq 0$$

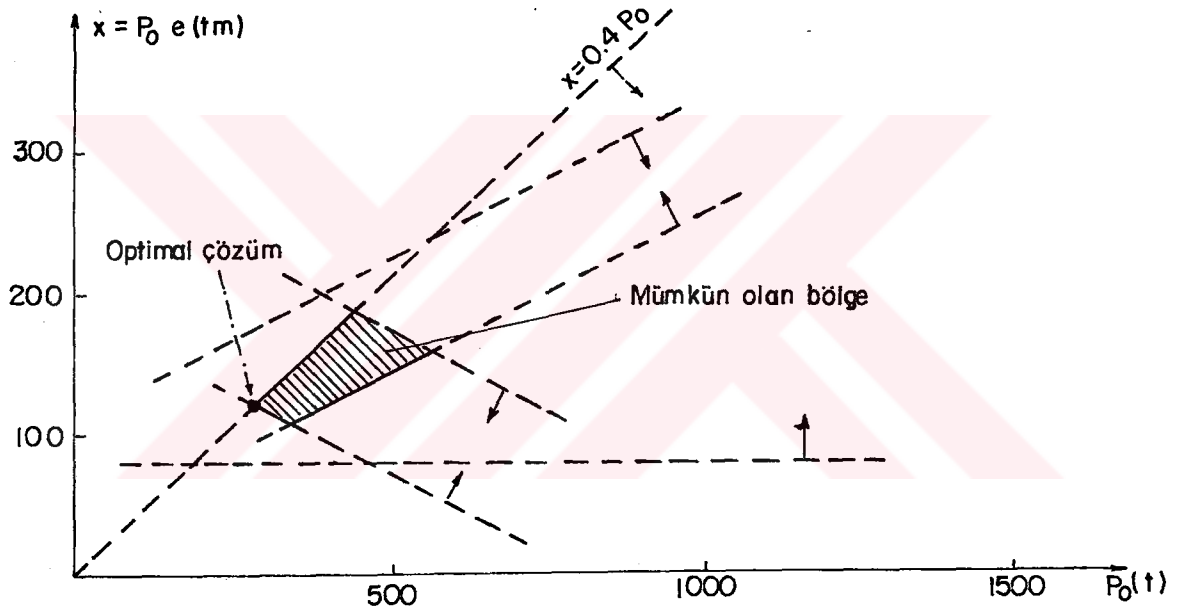
$$3.5 \times 10^{-2} - 1.87 \times 10^{-4} X \leq 0.02$$

$$X \leq 0.4 P_0$$

$$0 \leq F_0$$

Lineer programlama probleminin sadece iki değişkeni olduğu için bu durum P_0 ve X grafiğinde kolayca açıklanabilir. Şekil 13.3'de optimum çözümün $P_0 = 2983$ kN ve $X = 1193$ kNm $e = 0.4$ m. olduğu anlaşılmaktadır.

Lineer programlama formülazasyonun önemli bir yönü bütün gerilme sınırlamalarının gözönüne alınmasından ziyade sadece optimumda kritik olabilecek noktaları ele almasıdır.



Şekil 13.3.

$$Z = F_0 \leq \min \text{ (Amaç fonksiyonu)}$$

$$-127000 \leq (-P_0 - 43.8X) \leq -4380 \quad (\text{yükleme a})$$

$$-15360 \leq (-F_0 - 43.8X) \leq -8210 \quad (\text{yükleme b})$$

$$-3940 \leq (-P_0 + 43.8X) \leq 4380 \quad (\text{yükleme a})$$

$$1060 \leq (-P_0 + 43.8X) \leq 8210 \quad (\text{yükleme b})$$

$$-0.0151 \leq 1.87 \times 10^{-4} X$$

$$X - 0.4 P_0 \leq 0$$

fonksiyonları yazılır.

a yüklemesi için;

$$-12700 \text{ kN/m}^2, 4380 \text{ kN/m}^2$$

b yüklemesi için;

$$-8210 \text{ kN/m}^2, 1060 \text{ kN/m}^2$$

Sınır gerilmeleri alınarak Simplex metoduyla çözüldüğünde,

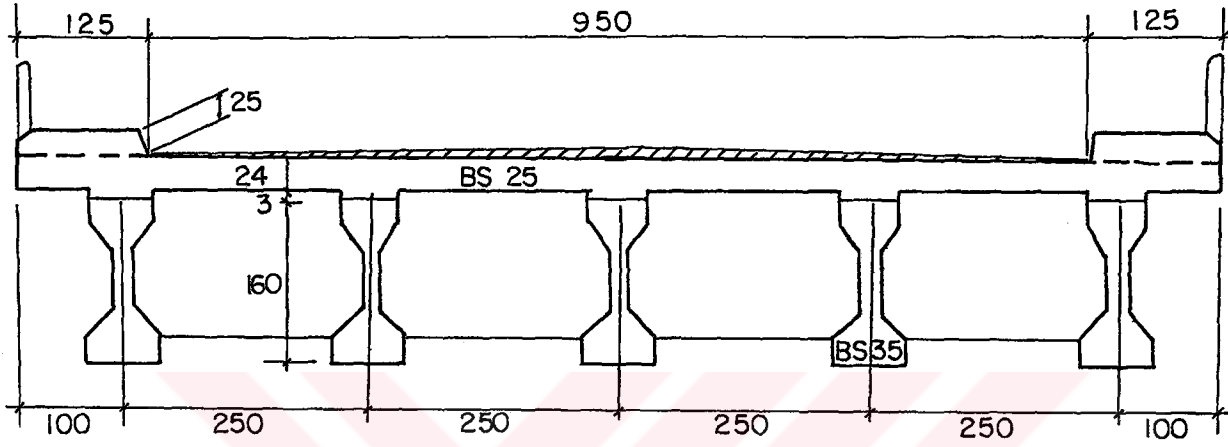
$$P_0 = 2983 \text{ kN}$$

$$X = 1193 \text{ kNm}$$

bulunur.

Simplex metoduyla çözümün bilgisayar çıktısı Ek-B'de verilmiştir.

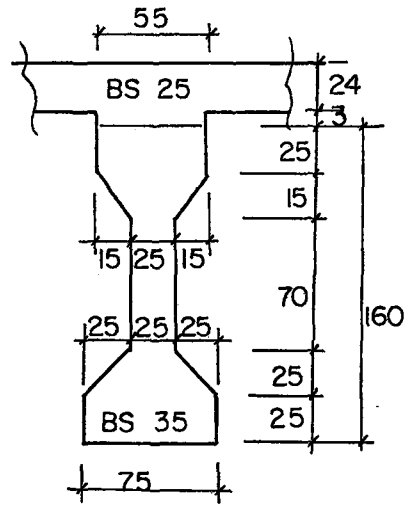
**14. NAHÇIYAN SINIRINDA, ARAS NEHRİ ÜZERİNDEKİ HASRET (UMUT)
KÖPRÜSÜNÜN İNCELENMESİ**



ÜSTYAPI ENKESİT TİPİ

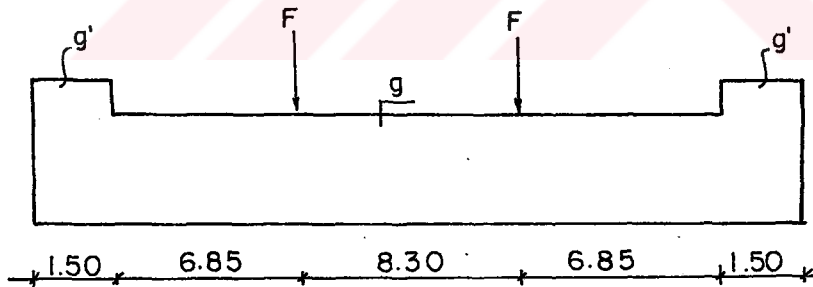
Şekil 14.1.

Öngerme sistemi	VSL (Losinger)
Köprü mesnet açıklığı	$L = 25$ m (Basit kiriş)
Köprü toplam genişliği	$E = 12.00$ m.
Kiriş sayısı	$= 5$ (tek açıklıkta)
Kiriş aralığı	$= 2.50$ m
Açıklık sayısı	$= 11$
Köprü boyu	$= 286.00$ m
Platform genişliği	$= 9.50$ m
Hareketli yük	$= H_{30}-S_{24}$ (AASHTO)



ANAKIRIŞ ENKESİT TİPİ

Şekil 14.2.

Yükler

$$g = 0.6850 \times 25 \times 1 = 17.125 \text{ kN/m}$$

$$g' = 0.750 \times 1.6 \times 25 \times 1 = 30 \text{ kN/m}$$

$$F = 0.3 (30 - 17.125) = 3.86 \text{ kN.}$$

$$M_{g1} = 1384.60 \text{ kNm}$$

Enleme Ağırlığı

$$\text{İç kirişlerde } 0.30 \times 1.75 \times 1.30 \times 25 = 18.12 \text{ kN}$$

$$\text{Dış kirişlerde } 1/2 \times 18.12 = 9.06 \text{ kN}$$

Döşeme Ağırlığı

$$\text{İç kirişlerde } (0.24 \times 25 + 0.03 \times 0.55) \times 25 = 15.41 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dış kirişlerde } (0.24 \times 2.25 + 0.03 \times 0.55) \times 25 = 13.91 \text{ kN/m}$$

Diğer ölü yükler ise döşeme prizini aldıktan sonra oluşacaktır. Bunların kirişlerce aynı oranda taşınacağı kabul edilmiştir.

$$\text{Kaplama ağırlığı} = 1/5 \times 0.10 \times 9.50 \times 20 \times 1 = 3.80 \text{ kN/m}$$

$$\text{Bordür Ağırlığı} = 1/5 \times 0.30 \times 2 \times 1.25 \times 25 \times 1 = 3.90 \text{ kN/m}$$

$$\text{Korkuluk yükü} = 1/5 \times 2 \times 2 \times 1 = 0.80 \text{ kN/m}$$

$$\text{Yaya yükü} = 1/5 \times 2 \times 1.25 \times 4 \times 1 = 2.00 \text{ kN/m.}$$

Malzeme**A) Beton:**

Ana kirişler BS 35

Döşeme ve Enleme BS 25

B) Çelik:

Öngerme çeliği (5-12) Tip 270 K x 4 (Kablo)

Betonarme Donatısı S 420

Malzeme Emniyet Gerilmeleri

Beton: Germe anında basınç = $0.55 f_{cj,k}$

Germe anında çekme = $0.25 f_{cj,k}$

Nihai basınç = $0.40 f_{cj,k}$

Nihai çekme = $0.25 f_{cj,k}$

Çelik: Ankraj = $0.75 f_{yd}$

İlk kayıplardan sonra = $0.70 f_{yd}$

Nihai durum = $0.80 f_{yd}$

İlk iki kablo germe işlemi beton silindir dayanımı 30 N/mm^2 de kalan iki kablonun germe işlemi de 35 N/mm^2 de yapılacağı kabul edilsin.

Betonda;

Germe anında basınç $0.55 \times 30 = 16.5 \text{ N/mm}^2$

Germe anında çekme $0.25 \times 30 = 1.36 \text{ N/mm}^2$

Nihai basınç $0.40 \times 35 = 14 \text{ N/mm}^2$

Nihai çekme $0.25 \times 35 = 1.47 \text{ N/mm}^2$

Çelikte;

$f_{yd} = 1898.3 \text{ N/mm}^2$

(5-12) Tip 270 K öngerme donatısının çekme dayanımı = $0.987 \times 189.83 \times 12$
 $= 2248.35 \text{ kN}$

Bir kirişte 4 Adet (5-12) 270 K tipi çok düşük gevşemeli öngerme kablosu mevcuttur.

Öngerme kablosu 12 telden oluşturulmuştur. 1 kablo kesitinin alanı = 11.844 cm^2 dir.

Ankrajlar ise E ve H tipidir.

Kesit Özellikleri

Kesit No	A (cm ²)	y ₁ (cm)	y ₂ (cm)	I (cm ⁴)	W ₁ (cm ³)	W ₂ (cm ³)
A ₁	6850	72.46	87.54	19308425	266470	220567
A ₂	6687.14	73.91	86.09	18713686	253195	217373
A ₃	6687.01	72.23	87.77	19371971	268198	220712
A ₀	7086.88	70.475	89.525	20124417	285553	224790
A ₅	11786.38	111.99	75.01	51003939	455433	1062360

A₁ Bütüt kesit

A₂ Kablo delikleri boş kesit

A₃ İki kablo deliği boş kesit

A₀ Tüm kablo delikleri dolu ve enjeksiyonları tamam kesit

A₅ Kompozit kesit (yüksekliğe döşeme kalınlığı da katıldığından $h=160 + 27 = 187$ cm).

A₃ kesitinde, iki adet öngerme kablosu geçirilmiş ve bu kablonun geçirildiği kılıfların enjeksiyonları tamamlandığında çalışan kesit alanı;

$$A_3 = 6850 - 7.2^2 \times p + (6-1) \times 0.987 \times 12 \times 2 + 0.5 \times p \times 2.7^2$$

$$A_3 = 6687.01 \text{ cm}^2$$

A₀ kesitinde bütün öngerme kabloları yerlerine yerleştirilmiş ve bu kabloların geçirildiği kılıfların enjeksiyonları tamamlandığında çalışan kesit alanı Denklem (5.1) den

$$A_0 = A_3 + (n-1) A_3 \quad n = E_s / E_c = 199200 / 33200 = 6$$

$$A_0 = 6850 + (6-1) \times 4 \times 0.987 \times 12$$

$$A_0 = 7086.88 \text{ cm}^2$$

Hareketli ($H_{30}-S_{24}$) yüklemeler ve sabit yükler sonucunda iç ve dış kirişlerde oluşan momentler (Dış kirişler köprü enkesitindeki kesit başındaki ve sonundaki kirişlerdir)

Moment	Dış Kiriş	İç Kiriş
M_{g1}	1384.60	1384.60
M_{g2}	2547.20	2740.00
M_{g3}	820.30	820.30
M_g	3367.50	3560.30
M_q	2763.70	2592.60
M_p	6131.20	6152.90

M_{g1} Kirişin kendi ağırlığından meydana gelen moment

M_{g2} Kiriş ağırlığı + Döşeme + Enleme ağırlığından meydana gelen moment.

M_{g3} Kaplama + Bordür + Korkuluk + Yaya yolundan meydana gelen moment.

M_g Toplam ölü yük momenti ($M_{g2}+M_{g3}$)

M_q $H_{30}-S_{24}$ hareketli yükünden oluşan moment

M_p Toplam max. momenttir (M_g+M_q)

Denklem (7.2) de

$$r=M_g/M_p=3367.50/6131.20=0.54$$

Bu değer I kesitler için yaklaşık olarak verilmiş 1/4 değerinden büyük olduğundan seçilen kesitin tablalı kesit olması gerekir. Şekil 14.2'ye bakıldığında seçilen kesitin (kompozit kesit) uygun olduğu görülmektedir.

Kesitin ekonomikliğini ifade eden p katsayısı ise,

$$p=1/(A.y_1.y_2)=51003939/(11786.38 \times 111.99 \times 75.01)=0.55 \text{ dir.}$$

Denklem (7.66)'dan yararlanarak λ katsayısını bulup, buradan kesitin y_1 y_2 değerlerinin uygunluğunu araştıralım.

$$\begin{aligned} & [(1-0.515)(1400-138)] \lambda^2 - [(2-0.515-0.10/1.87) \times 1400 + (1+(2.538/3.537)) \times \\ & 0.515 \times 1650 + (1-0.53-(2.538/3.537) \times 0.515) \times 1.38] \lambda + 1 - (0.053) \times 1400 - \\ & 2.5 \times 25^2 / (8 \times 1.87) = 0 \end{aligned}$$

Denklemini çözülürse $\lambda = 0.40$ bulunur.

$$y_2 = \lambda \times h = 0.40 \times 1.87 = 75 \text{ cm.}$$

Seçilen kesitte $y_2 = 75.01$ olduğundan seçilen kesit uygundur diyebiliriz.

Kesitimizin r katsayısı için bulunan 0.54 değeri I kesitler için verilen 0.30 değerinden büyük olduğundan kesitimiz kritik üstü kesittir. Yani dört limit gerilmeye erişilmeyen durumdur.

Denklem (6.9) ve (7.58) yardımıyla P_0 öngerilmesini bulmaya çalışalım.

$$P_0/A - (P_0 \cdot e / (A \cdot k_2)) + M_{g1} / W_2 > -d_3 S_{ce} \quad (6.9)$$

$$P_0/A + (P_0 \cdot e / (A \cdot k_1)) - M_p / W_1 > -d_3 S_{ce} \quad (7.58)$$

(6.9) denkleminde, kayıplar minimumda olup kayıp miktarı 0.10 kabul edilmiştir. Bu durumda iki öngerme kablosu kılıflara yerleştirilmiş ve enjeksiyonları tamamlanmıştır. Buna göre (6.9) denklemi çözülürse,

$$0.9 \times P_0 / 0.688701 - (0.9 P_0 \times 0.5923 / 0.220712) + (1384.60 / 0.220712) > -1490$$

$$P_0 < 7003 \text{ kN bulunur.}$$

(7.58) denkleminde ise kayıplar maksimumda olup, kayıp miktarı 0.30 kabul edilmiştir.

Bu durumda döşeme, enleme, ana kiriş ağırlığı ve P_0 öngerme kuvveti prefabrik kesit; kaplama, bordür, korkuluk, yaya ve hareketli yükler kompozit kesit tarafından taşınacağı düşünülüp

(7.58) denklemi çözülürse,

$$0.30.70P_0/0.708688+(0.70P_0 \times 0.57475/0.285553)-2547.20/285553-2584/0.455433$$

$$P_0 > 6470 \text{ kN bulunur.}$$

Bu eşitsizliklerden yararlanılarak,

$$P_0 = (6470 + 7003)/2 = 6736.5 = 6700 \text{ kN alınabilir.}$$

Bulunan bu P_0 öngerme kuvvetine göre kirişlerin gerilme tahkikini yaparsak, minimum kayıpta

$$\sigma_{1g} = 0.9 \times 6700 / 0.688701 + (0.9 \times 6700 \times 0.5923 / 0.268198) - (1384.60 / 0.26898)$$

$$16910 < 19250 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{2g} = 0.9 \times 6700 / 0.688701 - (0.9 \times 6700 \times 0.5923 / 0.268198) + (1384.60 / 0.26898)$$

$$-1153 > -1490 \text{ kN/m}^2$$

Maksimum kayıpta ise,

$$\sigma_{1p} = 0.7 \times 6700 / 0.708688 + (0.7 \times 6700 \times 0.57475 / 0.285553) - (2547.20 / 0.285553)$$

$$-(3584 / 0.455433) > -1380$$

$$-732 > -1380 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{2p} = 0.7 \times 6700 / 0.708688 - (0.7 \times 6700 \times 0.57475 / 0.285553) + (2547.20 / 0.285553)$$

$$+(3584 / 1.062360) < -14000$$

$$9332 < -14000 \text{ kN/m}^2$$

Bulunan bu değerler sonucunda gerilme tahkikleri sağlandığından seçilen P_0 öngerilme kuvveti uygundur denilebilir.

(7.56) (7.57) (7.58) denklemlerini yazarsak,

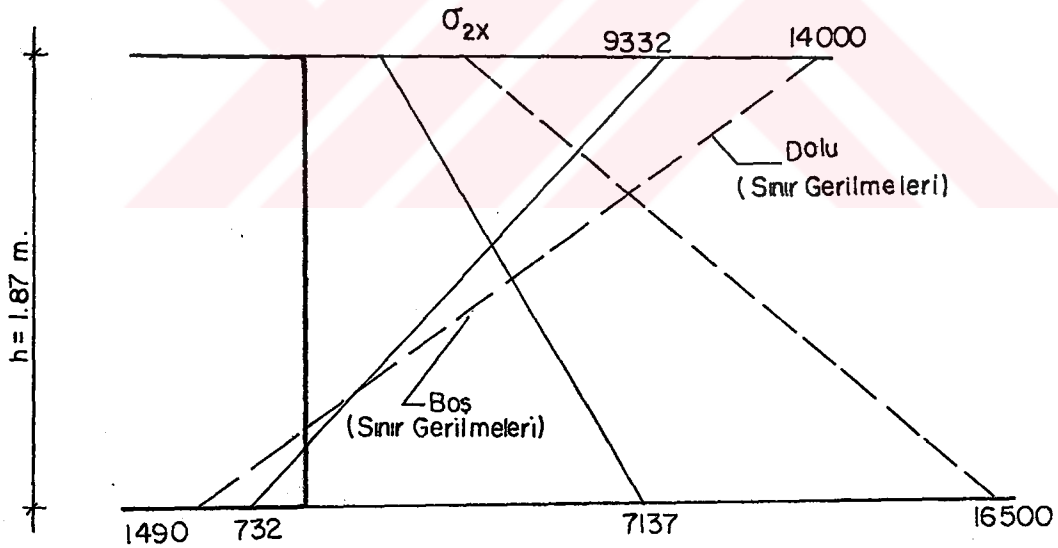
$$\sigma_{1g} = 0.7 \times 6700 / 0.708688 + (0.7 \times 6700 \times 0.57475 / 0.285553) - (2547.20 / 0.285553)$$

$$\sigma_{1g} = 7137.20 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{1p} = 0.7 \times 6700 / 0.708688 + (0.7 \times 6700 \times 0.57475 / 0.285553) - (2547.20 / 0.285553) - (3584 / 0.455433) = -732 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{2p} = 0.7 \times 6700 / 0.708688 - (0.7 \times 6700 \times 0.57475 / 0.285553) + (2547.20 / 0.285553) + (3584 / 1.062360) = 9332 \text{ kN/m}^2$$

Bu gerilmelerin diyagramını çizilirse,



Şekil 14.3.

Şekil 14.3'de görüldüğü gibi bu problemde sınır gerilmelerinden tam olarak yararlanılmadığından beton kesitinde ekonomiklik sağlanmazken öngerme kuvvetinden de maksimum tasarruf sağlanmamıştır.

Bu problemin lineer programlama çözümünden elde edilen optimum P_0 öngerilme kuvveti değeri Ek -C'de verilmiştir.

Öngerme donatısı kesit alanının hesabı ise,

$$A_{ps} = 6152.90 / (0.80 \times 1.60 \times 0.7 \times 1665000) = 0.004124 \text{ m}^2$$

Bir kirişteki mevcut öngerilme donatısı kesitinin alanı,

$$4 \times 0.987 \times 10^{-5} \times 12 = 0.0047376 \text{ m}^2$$

$0.0047376 > 0.004124 \text{ m}^2$ olduğundan seçilen öngerilme donatısı kesit alanı uygundur denilebilir.

Öngerilmeli Betonda Gerilme Kayıplarının Tahkiki

1) Sürtünme ve kama sıyrılmasından $m=0.19$ $k=0.0008$

$$P_v = P_0 e^{-(KL_k + mq)}$$

$$mq = 0.19 \times 0.15975 = 0.03035$$

$$KL = 0.0008 \times 25.60 = 0.02048$$

$$P_x = 670 \cdot e^{-(0.03035+0.02048)} = 6368 \text{ kN}$$

Kablonun bir metresindeki gerilme kaybı

$$D_p = (1 - 0.95044) \times 670 / 25.6 = 12.97 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 200000000$$

Öngerme donatısının kesit alanı ise

$$A_s = 4 \times 12 \times 0.987 = 47.376 \text{ cm}^2 = 0.0047376 \text{ m}^2$$

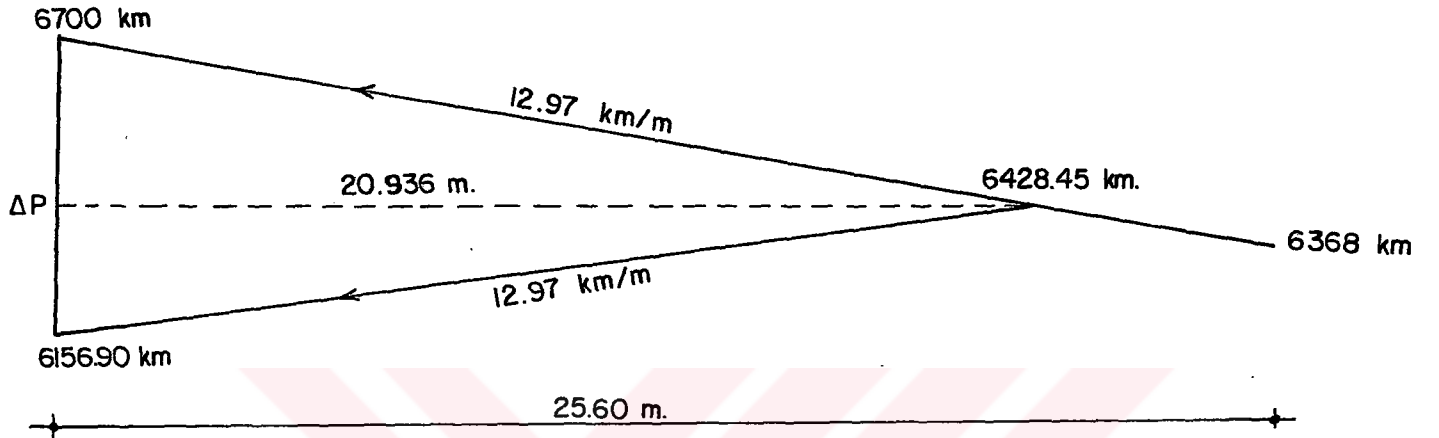
Sıkıştırıcı oturmasının (kamalanmanın) etkidiği boy,

$$L_s = 0.006 \times 2 \times 10^8 \times 0.0047376 / 12.97 = 20.396 \text{ m}$$

Kamalanmadan meydana gelen kayıp ise,

$$\Delta p = 2 \times 20.936 \times 12.97 = 543.10 \text{ kN}$$

Şekil (14.4) de sürtünme ve kama sıyrılmasından oluşan kayıplar gösterilmiştir.



Şekil 14.4.

Bulunan bu değerler kabloun tüm boyunda sürtünme ve kama sıyrılmasından meydana gelen kayıplardır.

Kabloun tüm boyunda sürtünme ve kama sıyrılmasından meydana gelen kayıp yüzdesi,

$$(1 - 6156.90/6700) = 0.081 = \%8.1$$

Ancak, bizim için kritik boy $L_k/2$ olduğundan buna göre sürtünme ve kama sıyrılmasından meydana gelen kuvvet kaybı ise,

$$P_x = 6700 e^{-(0.079875 \times 0.19 + 12.80 \times 0.0008)} = 6531.80 \text{ kN}$$

Kama sıyrılmasından meydana gelen kayıp ise, 543.10 kN'dur. Bu kama sıyrılmasından dolayı öngerilme kuvveti,

$$6700 - 543.10 = 6156.90 \text{ kN düşer.}$$

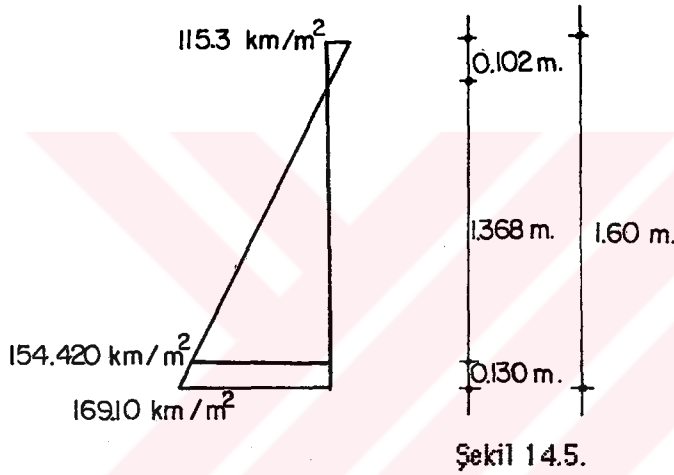
$L_k/2$ de sürtünme ve kama sızdırılmasından meydana gelen öngerilme kuvveti kayıp yüzdesi

ise,

$$(1-6156.90/6531.80)=0.0573=\%5.73$$

2) Elastik Kayıp

Sadece kiriş ağırlığı mevcut iken kirişin alt ve üst kenarlarında meydana gelen gerilmeler, Şekil 14.5' de gösterilmiştir.



Şekil 14.5.

$$n=E_c/E_b=2000000/332000$$

$$\text{Elastik kayıp} = 1/2 \times 6 \times 15442 \times 12 \times 4 \times 0.987 = 219.48 \text{ kN}$$

$$\text{Kayıp yüzdesi (\%)} = 219.48/6700 = 3.23$$

Öngerilmeli kirişte meydana gelen ilk kayıplar (%) si,

$$3.23 + 5.73 = 9$$

Min. kayıp %9 dur.

3) Rötne ve Sünmeden meydana gelen kayıplar:

$$\Delta\sigma_{p,c+s} = (\epsilon_{s00}E_s + n\phi_{\infty}(\sigma_{c,p,0+g}))/((1-(n\sigma_{cp0}/\sigma_{p0}))(1-\phi_{\infty}/2))$$

$$n=2000000/332000=6$$

h_0 etkin yüksekliği 48 cm alınırsa,

Betonun sünme sayısı $\phi_{\infty} = 3$

Betonun rötre miktarı $\epsilon_{900} = -2.6 \times 10^{-4}$

Öngerme çeliğinin başlangıç gerilmesi

$$\sigma_{p0} = 1675 / (0.987 \times 12) = 1414218.10 \text{ kN/m}^2$$

yalnız öngerme sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki ilk beton gerilmesi

$$\sigma_{cp0} = -(15442 + (1386.40 / 0.19308475) \times 0.5946) = -19711 \text{ kN/m}^2$$

Zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucunda öngerilme elemanı yüksekliğinde meydana gelen gerilme,

$$\sigma_{cpog} = -10919 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,c+s} &= -(2.6 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^8 + 6 \times 3 \times (-10919)) / (1 - 6 \times (19711 / 1414218.10) \times 2.5) \\ &= 205406.61 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kayıp yüzdesi (\%)} = 205406.61 / 1414218.10 = \%14.5$$

4) Çeliğin Rölaksasyonundan meydana gelen kayıp:

Kopma mukavemetin yüzdesi olarak başlangıç gerilmesi,

$$1675 / 2243.87 = 0.746$$

Buna göre Şekil (14.5) çeliğin rölaksasyonundan doğan kaybı %3.5 bulunur.

Öngerilmeli kiriş işleme girdikten sonra öngerilme kuvvetinde meydana gelen kayıp yüzdesi,

$$9 + 14.5 + 3.5 = \%27 \text{ dir.}$$

Hesaplarda kiriş işleme girdikten sonra öngerilme kuvvetinde meydana gelen kayıp %30 alındığından emniyetli tarafta kalınmıştır.

15. SONUÇLAR

Ülkemizin gelişmekte olan bir ulke olması ve coğrafi yapısı; büyük inşaat yapımlarında öngerilmeli beton elemanların kullanılması zorunluluğunu meydana getirmiştir.

Ülkemiz coğrafi yapısı itibariyle çok kuvvetli akıntısı olan akarsulara ani büyük debili taşkınlara maruz nehirlere ve büyük uçurumlu vadilere sahiptir.

Gelişmekte olan ülkemizde alt yapı ve ulaşım sorunları en ekonomik ve kısa sürede çözülmesi gerekmektedir.

Bu sebeplerden dolayı T.C. Karayolları Genel Müdürlüğüne yapılan otoyol, devlet ve il yolu proje çalışmalarında viyadük, köprü, alt ve üst geçitler öngerilmeli beton elemanlarla inşa edilme yoluna gidilmiştir.

Devlet ve il yollarındaki proje çalışmalarında öngerilmeli beton kiriş elemanlar I kesitli olup pratik olması sebebiyle ardçekme metoduyla imal edilmiştir.

Otoyol projelerinde ise viyadük, alt ve üst geçitlerde U kesitli öngerilmeli beton kiriş elemanlar öncekme metodu ile imal edilmiştir. Büyük uçurumlu vadilerde yapılan uzun viyadük çalışmalarında ise U kesitli öngerilmeli tabliyeler öncekme metodu ile imal edilip; sürme yöntemiyle inşa edilmiştir.

Statik sistemi izostatik olarak projelendirilen I, U kesitli öngerilmeli beton kiriş elemanları kesitleri kritik üstü kesit olduğundan; öngerilmeli betonun ekonomikliğini ifade eden sabit yüklerin bedavaya taşınması olayı ortadan kalkmış olmaktadır. Kesitimizin kritik üstü kesit olması sebebiyle beton kesitinden ekonomiklik sağlanmazken; öngerilme kuvvetinden de maksimum tasarruf elde edilememiştir.

Aralık-Sederek karayolunda Aras Nehri üzerindeki Aras Karayolu Köprüsünde, öngerilme bir kiriş elemanının öngerme çeliğ ve betonu gözönünde bulundurularak; 1991 yılı fiyatlarıyla

maliyeti çıkarılacak olursa;

4 Adet kablo iççiliği	=	1.844.751 TL.
Boyuna kablo gerilmesi	=	2.543.664 "
Yüksek dayanımlı öngerme çeliği	=	6.498.038 "
Ankraj temini	=	2.847.376 "
Kılıf borusu temini	=	<u>2.896.899 "</u>
Toplam öngerme kablo masrafı	=	16.630.728 TL.
Öngermeli kiriş beton imalatı	=	<u>15.668.498 "</u>
Bir kirişin toplam imalat fiatı	=	32.299.226 TL dir.

Öngerme kablosunun bir kirişin imalat fiatındaki oranı ise,

$$\frac{16.630.728}{32.299.226} = 0.514 \text{ dür.}$$

Bu değerlerden anlaşılacağı üzere öngerme kablosunun maliyeti toplam maliyet içerisinde önemli sayılabilecek bir paya sahiptir.

Bundan dolayı kesitin kritik veya kritik altı seçilmesi durumunda sabit yük bedavaya taşınacağından verilmesi gereken öngerme kuvveti azalacak, dolayısıyla öngerme kablosu kesiti de küçülecektir. Bu etkenler de, maliyeti düşüreceğinden ekonomiklik sağlanacaktır.

Öngermeli beton kiriş eleman kesitlerinin, boyutları genellikle yardımcı tablolar yardımıyla tespit edileceği gösterilmiştir. Ancak, bu boyutlandırmalar gerilme ve sehim sınırlamalarına bağlı kalınarak lineer bir programlama ile bulunacak, öngerme kuvvetinin tespitinde kontrol edilmesi gerekir. Lineer programlamada eğer uygun çözüm bulunmuyorsa, bu kesit değerlerinin yeniden boyutlandırılması gerekmektedir.

Hiperstatik olarak projelendirilen uzun viyadük ve köprü inşaatlarında kullanılan ankrobelman ve sürme yöntemleriyle, iskele ve kalıp masraflarından kaçınılırken; hızlı ve güvenli yapılar inşa etmek mümkün olacaktır.

Sürme yöntemi ilk kez ülkemizde Kınalı-Sakarya Otoyolu Projesinde uygulanmış ve ülkemizin inşaat sektörüne çağdaş düzeyde yeni bir yapım yöntemi kazandırmıştır.

Öngerilmeli beton kiriş elemanların boyutlandırma çalışmaları; son yıllara kadar yabancı ülkelerde (Japonya, Almanya, İtalya) yapıp, sadece ülkemizde bu proje değerlerine bağlı kalınarak imalat yapılmıştır. Ancak, Adana-Gaziantep Otoyolu Projesindeki öngerilmeli kiriş elemanların boyutlandırılması Türk mühendisleri tarafından yapılmıştır. Fakat bu öngerilmeli kiriş elemanlarında bazı özel problemler (malzeme ve işçilik optimizasyonu, inşaatın süratı, öngerilme kayıplarının doğru tahmini, buhar küünün beton üzerine etkisi, betonarme donatısı ve tertibi gibi) olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizin inşaat sektöründe büyük bir yeri olan öngerilmeli beton elemanların ülkemizin coğrafik yapısı ve ekonomik şartları gözönünde bulundurularak; Türk mühendisleri tarafından projelendirilip, imalatının yapılması gerekecektir.

KAYNAKLAR

ACI-318-83, **Building Code Requirement for Reinforced Concrete Buildings**,
American Concrete Institute.

AKA, İ., KESKİNEL, F., T.S. (1989), **Betonarme Yapı Elemanları**, Birsen Kitabevi,
İstanbul.

BİLGE, M.R., (1982), **Öngerilmeli Beton**, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

CELASUN, H., (1974), **Öngerilmeli Beton**, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

CELASUN, H., (1991), **Türkiye İnşaat Mühendisliği XI.Teknik Kongresi Bildirileri**
Cilt: 1, Yaran Ofset, Ankara.

Committee of UNESCO (1984), **Reinforced Concrete: An International Manual**, London.

DEMİR, H., (1987), **Öngerilmeli Beton Ders Notları**, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

ERDOĞAN, A.S., (1991), **Betonarme Üst ve Alt Yapı Elemanları**, Elazığ.

FERGUSON, P.M., (1986), **Reinforced Concrete Fundamentals**, John Wiley and Sons,
New York 5th. Edition.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (1989), **Sadabad II Yıgadüğü**, Karayolları Genel Müdürlüğü
Matbaası, Ankara.

Karayolları Genel Müdürlüğü, (1989), **Molla Gürani Yıgadüğü**, Karayolları Genel Müdürlüğü
Matbaası, Ankara.

KAYASOĞLU, D., (1991), **Karayolları 12. Otoyol Kursu Notları**, Ankara.

KIRSCH, U., (1981), **Optimum Structural Design**, McGraw-Hill Inc All Rights

~~Reserved~~ Printed in the United States of America,

KURŞUN, A., (1990), **Yıgadük Uzun Köprü Yapımında Sürme Yönteminin Yurdumuz-
da İlk Uygulamaları**, Karayolları Vakfı Dergisi, Ankara.

ÖZDEN, K., (1988), **Öngerilmeli Beton**, İTÜ Matbaası, İstanbul.

RAMASWAMY, G.S., (1988), **Design and Constraction of Concrete Shell Roofs**, Tata McGraw-Hill Publ. Com., Bombay.

SÖYMEN, A., (1989), **Karayolları 7. Otoyol Kursu Notları**, İstanbul.

TCK 12. Bölge Müdürlüğü, (1985), **Sondaj Raporları**, Erzurum.

TS 3233 (1979), **Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları**, Türk Standardlar Enst. Ankara.

TS 3721 (1983), **Öngerilmeli Beton İçin Çelik Teller, Toronlar ve Çubuklar**, Türk Standardları Enst. Ankara.

YAPI SİSTEMLERİ A.Ş., (1984), **YSL Öngerme**, Güzel Sanatlar Matbaası, İstanbul.

EKLER

Ek-A: Öngerilmeli beton kirişlerin tiplerine göre boyutlandırılmasında kullanılan yardımcı tablolar.

Ek-B: Bölüm 13'de misal olarak verilen problemin lineer programlama ile bulunan minimum ögerme kuvvet değerinin bilgisayar çıktısı.

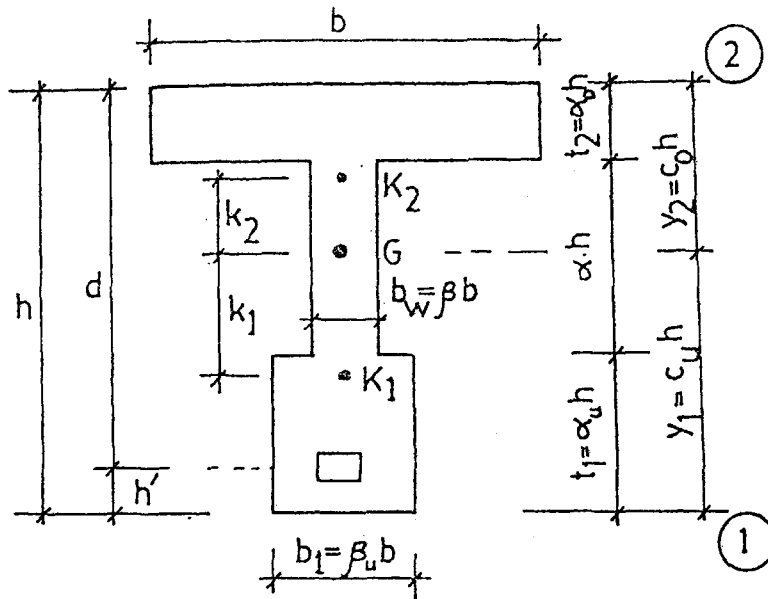
Ek-C: Aralık-Sederek Karayolunda Aras Nehri üzerindeki Aras Karayolu Köprüsünde (Hasret veya Umut Köprüsü) öngerilmeli beton kirişlerde uygulanacak olan ögerme kuvvetinin lineer programlama ile bulunan minimum değerinin bilgisayar çıktısı.

Ek-D: Aralık-Sederek Karayolunda Aras Nehri üzerindeki Aras Karayolu Köprüsüne ait germe tarafında kablo ucu ankraj detayı, germe ankraj detayı, mesnet enlemesi kalıbı, donatısı ve kesiti, açıklık enlemesi kalıbı, donatısı ve kesiti, sabit kablo ankrajı detayı ve kesiti, 1/2 ana kiriş kablo yürüngeleri ve mesnet ve açıklıkta öngerilmeli beton kiriş çizimleri.

EK-A

**Önerilmeli Beton Kirişlerin Tiplerine Göre Boyutlandırılmasında
Kullanılan Yardımcı Tablolar.**



NOTASYONKESİT BOYÜKLÜKLERİ

Kesit Alanı $A = c_f \cdot b \cdot h$

Kesit Atalet Momenti $I = c_i \cdot b \cdot h^3$

$y_2 = c_o \cdot h$, $y_1 = c_u \cdot h$

$$c_o + c_u = 1$$

$$k_2 = \frac{I}{A y_1} = \frac{c_i \cdot h}{c_f \cdot c_u}$$

$$k_1 = \frac{I}{A y_2} = \frac{c_i \cdot h}{c_f \cdot c_o}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{c_o}{c_u}$$

$$w_2 = \frac{I}{y_2} = \frac{c_i}{c_o} \cdot b h^2$$

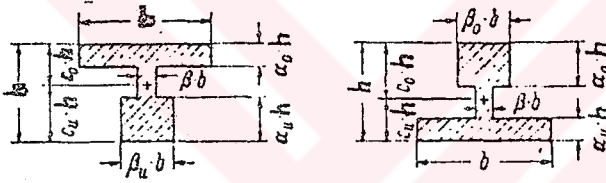
$$w_1 = \frac{I}{y_1} = \frac{c_i}{c} b h^2 = \frac{c_o}{c} w_2$$

TABLÖLAR

TABLO E-1

Tek simetrlili kesitlerde c_f değerleri

$$A = c_f b \cdot h$$

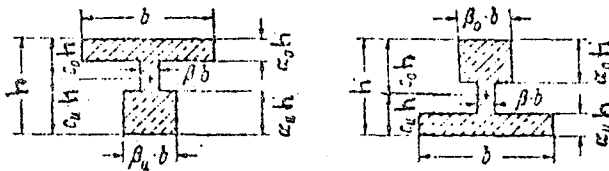


o indisi u ile
değiştirilir

TABLO E-2

Tek simetrlili kesitlerde $\frac{c_o}{c_u}$ değerleri

$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{c_o}{c_u}}; \quad c_o = 1 - c_u$$



o indisi u ile
değiştirilir

TABLO E-1

		$\alpha_0 = 0,10$										$\alpha_0 = 0,16$										$\alpha_0 = 0,20$																								
		β										β										β																								
β_u		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	β_u															
$\alpha_u = 0,10$																																														
1,0	0,330	0,320	0,360	0,400	0,430	0,460	0,480	0,500	0,520	0,560	0,600	0,325	0,363	0,400	0,438	0,475	0,513	0,550	0,588	0,625	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,615	0,650	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,615	0,650	1,0							
0,9	0,270	0,310	0,350	0,390	0,420	0,450	0,470	0,510	0,550	0,600	0,640	0,315	0,353	0,390	0,428	0,465	0,503	0,540	0,578	0,615	0,365	0,399	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,610	0,645	0,680	0,365	0,399	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,610	0,645	0,9						
0,8	0,200	0,300	0,340	0,380	0,420	0,460	0,500	0,540	0,580	0,630	0,670	0,305	0,343	0,380	0,418	0,455	0,493	0,530	0,568	0,605	0,355	0,389	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,635	0,670	0,355	0,389	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,635	0,8						
0,7	0,130	0,290	0,330	0,370	0,410	0,450	0,490	0,530	0,570	0,620	0,660	0,295	0,333	0,370	0,408	0,445	0,483	0,520	0,558	0,595	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,7							
0,6	0,060	0,280	0,320	0,360	0,400	0,440	0,480	0,520	0,560	0,610	0,650	0,285	0,323	0,360	0,398	0,435	0,473	0,510	0,548	0,585	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,610	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,610	0,6							
0,5	0,030	0,270	0,310	0,350	0,390	0,430	0,470	0,510	0,550	0,600	0,640	0,275	0,313	0,350	0,388	0,425	0,463	0,500	0,538	0,575	0,265	0,303	0,340	0,378	0,415	0,453	0,490	0,528	0,565	0,265	0,303	0,340	0,378	0,415	0,453	0,490	0,528	0,565	0,5							
0,4	0,020	0,260	0,300	0,340	0,380	0,420	0,460	0,500	0,540	0,590	0,630	0,265	0,303	0,340	0,378	0,415	0,453	0,490	0,528	0,565	0,255	0,293	0,330	0,368	0,405	0,443	0,480	0,518	0,555	0,255	0,293	0,330	0,368	0,405	0,443	0,480	0,518	0,555	0,4							
0,3	0,010	0,250	0,290	0,330	0,370	0,410	0,450	0,490	0,530	0,580	0,620	0,255	0,293	0,330	0,368	0,405	0,443	0,480	0,518	0,555	0,245	0,283	0,320	0,358	0,395	0,433	0,470	0,508	0,545	0,245	0,283	0,320	0,358	0,395	0,433	0,470	0,508	0,545	0,3							
0,2	0,005	0,240	0,280	0,320	0,360	0,400	0,440	0,480	0,520	0,570	0,610	0,245	0,283	0,320	0,358	0,395	0,433	0,470	0,508	0,545	0,235	0,273	0,310	0,348	0,385	0,423	0,460	0,498	0,535	0,235	0,273	0,310	0,348	0,385	0,423	0,460	0,498	0,535	0,2							
0,1	0,001	0,230	0,270	0,310	0,350	0,390	0,430	0,470	0,510	0,560	0,600	0,235	0,273	0,310	0,348	0,385	0,423	0,460	0,498	0,535	0,225	0,263	0,300	0,338	0,375	0,413	0,450	0,488	0,525	0,225	0,263	0,300	0,338	0,375	0,413	0,450	0,488	0,525	0,1							
$\alpha_u = 0,15$																																														
1,0	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,615	0,650	0,685	0,720	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,655	0,690	0,450	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,695	0,730	0,450	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,695	0,730	1,0							
0,9	0,350	0,385	0,420	0,455	0,490	0,525	0,560	0,595	0,630	0,665	0,700	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,675	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,675	0,710	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,675	0,710	0,9							
0,8	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,610	0,645	0,680	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,655	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,675	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,675	0,8							
0,7	0,310	0,345	0,380	0,415	0,450	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,355	0,390	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,635	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,7			
0,6	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535	0,570	0,605	0,640	0,335	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,615	0,355	0,390	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,355	0,390	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,355	0,390	0,425	0,460	0,495	0,530	0,6			
0,5	0,270	0,305	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,550	0,585	0,620	0,315	0,350	0,385	0,420	0,455	0,490	0,525	0,560	0,595	0,335	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,335	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,335	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,5			
0,4	0,250	0,285	0,320	0,355	0,390	0,425	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,295	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,295	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,295	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,575	0,295	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,5	
0,3	0,230	0,265	0,300	0,335	0,370	0,405	0,440	0,475	0,510	0,545	0,580	0,275	0,310	0,345	0,380	0,415	0,450	0,485	0,520	0,555	0,275	0,310	0,345	0,380	0,415	0,450	0,485	0,520	0,275	0,310	0,345	0,380	0,415	0,450	0,485	0,520	0,275	0,310	0,345	0,380	0,415	0,450	0,485	0,5		
0,2	0,210	0,245	0,280	0,315	0,350	0,385	0,420	0,455	0,490	0,525	0,560	0,255	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535	0,255	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,500	0,255	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,500	0,255	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,5		
0,1	0,190	0,225	0,260	0,295	0,330	0,365	0,400	0,435	0,470	0,505	0,540	0,235	0,270	0,305	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,515	0,235	0,270	0,305	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,235	0,270	0,305	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,235	0,270	0,305	0,340	0,375	0,410	0,445	0,480	0,1	
$\alpha_u = 0,20$																																														
1,0	0,415	0,448	0,480	0,513	0,545	0,578	0,610	0,643	0,676	0,709	0,742	0,460	0,495	0,530	0,565	0,600	0,635	0,670	0,705	0,740	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,695	0,730	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,695	0,730	0,485	0,520	0,555	0,590	0,625	0,660	0,695	0,730	1,0	
0,9	0,390	0,423	0,455	0,488	0,520	0,553	0,586	0,618	0,650	0,683	0,716	0,435	0,468	0,500	0,533	0,566	0,599	0,632	0,665	0,698	0,460	0,493	0,526	0,559	0,592	0,625	0,658	0,691	0,460	0,493	0,526	0,559	0,592	0,625	0,658	0,691	0,460	0,493	0,526	0,559	0,592	0,625	0,658	0,691	0,9	
0,8	0,365	0,398	0,430	0,463	0,495	0,528	0,561	0,594	0,627	0,660	0,693	0,410	0,443	0,475	0,508	0,541	0,574	0,607	0,640	0,673	0,435	0,468	0,500	0,533	0,566	0,599	0,632	0,665	0,435	0,468	0,500	0,533	0,566	0,599	0,632	0,665	0,435	0,468	0,500	0,533	0,566	0,599	0,632	0,665	0,693	0,8
0,7	0,340	0,373	0,405	0,438	0,470	0,503	0,536	0,569	0,602	0,635	0,668	0,385	0,418	0,450	0,483	0,516	0,549	0,582	0,615	0,648	0,385	0,418	0,450	0,483	0,516	0,549	0,582	0,615	0,385	0,418	0,450	0,483	0,516	0,549	0,582	0,615	0,385	0,418	0,450	0,483	0,516	0,549	0,582	0,615	0,668	0,7
0,6	0,315	0,348	0,380	0,413	0,445	0,478	0,510	0,543	0,576	0,609	0,642	0,360	0,393	0,425	0,458</																															

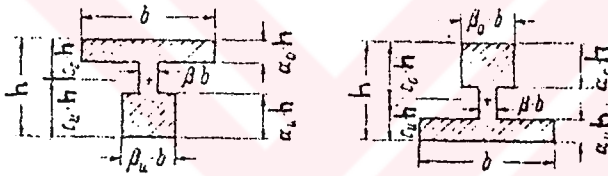
$\alpha_0 = 0,10$

$\alpha_0 = 0,10$																				$\alpha_0 = 0,15$																				$\alpha_0 = 0,20$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		β																				β																				β																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
β_u	β_v	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990	0,989	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,978	0,977	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967	0,966	0,965	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	0,955	0,954	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933	0,932	0,931	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	0,921	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908	0,907	0,906	0,905	0,904	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,897	0,896	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,884	0,883	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,875	0,874	0,873	0,872	0,871	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,847	0,846	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,828	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,818	0,817	0,816	0,815	0,814	0,813	0,812	0,811	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,803	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,796	0,795	0,794	0,793	0,792	0,791	0,790	0,789	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783	0,782	0,781	0,780	0,779	0,778	0,777	0,776	0,775	0,774	0,773	0,772	0,771	0,770	0,769	0,768	0,767	0,766	0,765	0,764	0,763	0,762	0,761	0,760	0,759	0,758	0,757	0,756	0,755	0,754	0,753	0,752	0,751	0,750	0,749	0,748	0,747	0,746	0,745	0,744	0,743	0,742	0,741	0,740	0,739	0,738	0,737	0,736	0,735	0,734	0,733	0,732	0,731	0,730	0,729	0,728	0,727	0,726	0,725	0,724	0,723	0,722	0,721	0,720	0,719	0,718	0,717	0,716	0,715	0,714	0,713	0,712	0,711	0,710	0,709	0,708	0,707	0,706	0,705	0,704	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699	0,698	0,697	0,696	0,695	0,694	0,693	0,692	0,691	0,690	0,689	0,688	0,687	0,686	0,685	0,684	0,683	0,682	0,681	0,680	0,679	0,678	0,677	0,676	0,675	0,674	0,673	0,672	0,671	0,670	0,669	0,668	0,667	0,666	0,665	0,664	0,663	0,662	0,661	0,660	0,659	0,658	0,657	0,656	0,655	0,654	0,653	0,652	0,651	0,650	0,649	0,648	0,647	0,646	0,645	0,644	0,643	0,642	0,641	0,640	0,639	0,638	0,637	0,636	0,635	0,634	0,633	0,632	0,631	0,630	0,629	0,628	0,627	0,626	0,625	0,624	0,623	0,622	0,621	0,620	0,619	0,618	0,617	0,616	0,615	0,614	0,613	0,612	0,611	0,610	0,609	0,608	0,607	0,606	0,605	0,604	0,603	0,602	0,601	0,600	0,599	0,598	0,597	0,596	0,595	0,594	0,593	0,592	0,591	0,590	0,589	0,588	0,587	0,586	0,585	0,584	0,583	0,582	0,581	0,580	0,579	0,578	0,577	0,576	0,575	0,574	0,573	0,572	0,571	0,570	0,569	0,568	0,567	0,566	0,565	0,564	0,563	0,562	0,561	0,560	0,559	0,558	0,557	0,556	0,555	0,554	0,553	0,552	0,551	0,550	0,549	0,548	0,547	0,546	0,545	0,544	0,543	0,542	0,541	0,540	0,539	0,538	0,537	0,536	0,535	0,534	0,533	0,532	0,531	0,530	0,529	0,528	0,527	0,526	0,525	0,524	0,523	0,522	0,521	0,520	0,519	0,518	0,517	0,516	0,515	0,514	0,513	0,512	0,511	0,510	0,509	0,508	0,507	0,506	0,505	0,504	0,503	0,502	0,501	0,500	0,499	0,498	0,497	0,496	0,495	0,494	0,493	0,492	0,491	0,490	0,489	0,488	0,487	0,486	0,485	0,484	0,483	0,482	0,481	0,480	0,479	0,478	0,477	0,476	0,475	0,474	0,473	0,472	0,471	0,470	0,469	0,468	0,467	0,466	0,465	0,464	0,463	0,462	0,461	0,460	0,459	0,458	0,457	0,456	0,455	0,454	0,453	0,452	0,451	0,450	0,449	0,448	0,447	0,446	0,445	0,444	0,443	0,442	0,441	0,440	0,439	0,438	0,437	0,436	0,435	0,434	0,433	0,432	0,431	0,430	0,429	0,428	0,427	0,426	0,425	0,424	0,423	0,422	0,421	0,420	0,419	0,418	0,417	0,416	0,415	0,414	0,413	0,412	0,411	0,410	0,409	0,408	0,407	0,406	0,405	0,404	0,403	0,402	0,401	0,400	0,399	0,398	0,397	0,396	0,395	0,394	0,393	0,392	0,391	0,390	0,389	0,388	0,387	0,386	0,385	0,384	0,383	0,382	0,381	0,380	0,379	0,378	0,377	0,376	0,375	0,374	0,373	0,372	0,371	0,370	0,369	0,368	0,367	0,366	0,365	0,364	0,363	0,362	0,361	0,360	0,359	0,358	0,357	0,356	0,355	0,354	0,353	0,352	0,351	0,350	0,349	0,348	0,347	0,346	0,345	0,344	0,343	0,342	0,341	0,340	0,339	0,338	0,337	0,336	0,335	0,334	0,333	0,332	0,331	0,330	0,329	0,328	0,327	0,326	0,325	0,324	0,323	0,322	0,321	0,320	0,319	0,318	0,317	0,316	0,315	0,314	0,313	0,312	0,311	0,310	0,309	0,308	0,307	0,306	0,305	0,304	0,303	0,302	0,301	0,300	0,299	0,298	0,297	0,296	0,295	0,294	0,293	0,292	0,291	0,290	0,289	0,288	0,287	0,286	0,285	0,284	0,283	0,282	0,281	0,280	0,279	0,278	0,277	0,276	0,275	0,274	0,273	0,272	0,271	0,270	0,269	0,268	0,267	0,266	0,265	0,264	0,263	0,262	0,261	0,260	0,259	0,258	0,257	0,256	0,255	0,254	0,253	0,252	0,251	0,250	0,249	0,248	0,247	0,246	0,245	0,244	0,243	0,242	0,241	0,240	0,239	0,238	0,237	0,236	0,235	0,234	0,233	0,232	0,231	0,230	0,229	0,228	0,227	0,226	0,225	0,224	0,223	0,222	0,221	0,220	0,219	0,218	0,217	0,216	0,215	0,214	0,213	0,212	0,211	0,210	0,209	0,208	0,207	0,206	0,205	0,204	0,203	0,202	0,201	0,200	0,199	0,198	0,197	0,196	0,195	0,194	0,193	0,192	0,191	0,190	0,189	0,188	0,187	0,186	0,185	0,184	0,183	0,182	0,181	0,180	0,179	0,178	0,177	0,176	0,175	0,174	0,173	0,172	0,171	0,170	0,169	0,168	0,167	0,166	0,165	0,164	0,163	0,162	0,161	0,160	0,159	0,158	0,157	0,156	0,155	0,154	0,153	0,152	0,151	0,150	0,149	0,148	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,142	0,141	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	0,120	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,112	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,105	0,104	0,103	0,102	0,101	0,100	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,092	0,091	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,084	0,083	0,082	0,081	0,080	0,079	0,078	0,077	0,076	0,075	0,074	0,073	0,072	0,071	0,070	0,069	0,068	0,067	0,066	0,065	0,064	0,063	0,062	0,061	0,060	0,059	0,058	0,057	0,056	0,055	0,054	0,053	0,052	0,051	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,045	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	0,030	0,029	0,028	0,027	0,026	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990	0,989	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,978	0,977	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967	0,966	0,965	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	0,955	0,954	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933	0,932	0,931	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	0,921	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908	0,907	0,906	0,905	0,904	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,897	0,896	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,884	0,883	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,875	0,874	0,873	0,872	0,871	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,847	0,846	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835	0,834	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,828	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,818	0,817	0,816	0,815	0,814	0,813

TABLO E-3

Tek simettrili kesitlerde $\frac{c_i}{c_o}$ değerleri

$$W_2 = \frac{c_i}{c_u} \cdot b \cdot h^2; \quad W_1 = \frac{c_o}{c_u} \cdot W_2$$

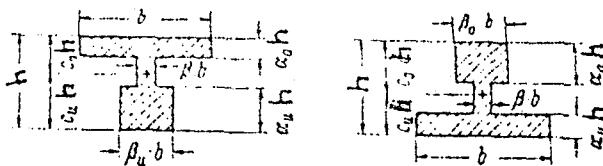


o indisi u ile
değiştirilir

TABLO E-4

Tek simettrili kesitlerde $\frac{k_u}{d}$ değerleri

$$k_2: k_1 = c_o: c_u$$



o indisi u ile
değiştirilir

TABLE E-3

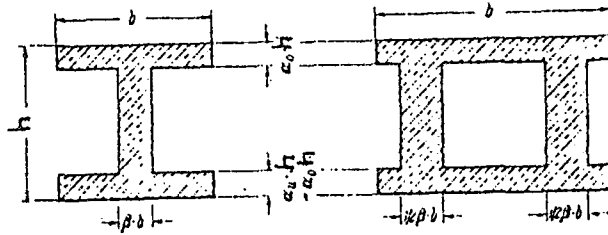
[illegible]

TABLE E-4

$\alpha_0 = 0.10$																	$\alpha_0 = 0.16$																	$\alpha_0 = 0.20$																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
β_u		β															β_u		β															β_u		β																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1.0	0.921	0.294	0.273	0.257	0.243	0.232	0.222	0.214	0.207	0.340	0.317	0.293	0.274	0.259	0.246	0.234	0.224	0.216	0.348	0.321	0.298	0.280	0.264	0.251	0.240	0.230	0.220	1.0	0.930	0.296	0.276	0.260	0.244	0.232	0.222	0.214	0.206	0.351	0.320	0.295	0.276	0.260	0.246	0.234	0.224	0.216	0.350	0.322	0.299	0.280	0.264	0.250	0.239	0.228	0.219	0.9	0.828	0.290	0.270	0.254	0.242	0.232	0.222	0.214	0.206	0.346	0.322	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.8	0.835	0.303	0.279	0.263	0.247	0.235	0.225	0.217	0.209	0.346	0.322	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.7	0.842	0.307	0.281	0.265	0.249	0.237	0.227	0.219	0.211	0.346	0.324	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.6	0.848	0.310	0.282	0.266	0.250	0.238	0.228	0.220	0.212	0.341	0.326	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.5	0.852	0.311	0.282	0.266	0.250	0.238	0.228	0.220	0.212	0.341	0.326	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.4	0.854	0.311	0.281	0.265	0.249	0.237	0.227	0.219	0.211	0.341	0.326	0.297	0.278	0.262	0.248	0.238	0.228	0.219	0.3	0.853	0.309	0.278	0.262	0.246	0.234	0.224	0.216	0.208	0.340	0.316	0.287	0.268	0.252	0.238	0.228	0.219	0.2	0.847	0.302	0.272	0.256	0.240	0.228	0.218	0.210	0.202	0.336	0.306	0.279	0.260	0.244	0.230	0.220	0.211	0.1	0.831	0.302	0.272	0.256	0.240	0.228	0.218	0.210	0.202	0.316	0.306	0.279	0.260	0.244	0.230	0.220	0.211	0.0	0.821	0.295	0.265	0.249	0.233	0.221	0.211	0.203	0.195	0.311	0.292	0.275	0.256	0.240	0.226	0.216	0.208	0.197	0.8	0.820	0.294	0.264	0.248	0.232	0.220	0.210	0.202	0.194	0.310	0.291	0.274	0.255	0.239	0.225	0.215	0.207	0.196	0.7	0.819	0.293	0.263	0.247	0.231	0.219	0.209	0.201	0.193	0.309	0.290	0.273	0.254	0.238	0.224	0.214	0.206	0.195	0.6	0.818	0.292	0.262	0.246	0.230	0.218	0.208	0.200	0.192	0.308	0.289	0.272	0.253	0.237	0.223	0.213	0.205	0.194	0.5	0.817	0.291	0.261	0.245	0.229	0.217	0.207	0.199	0.191	0.307	0.288	0.271	0.252	0.236	0.222	0.212	0.204	0.193	0.4	0.816	0.290	0.260	0.244	0.228	0.216	0.206	0.198	0.190	0.306	0.287	0.270	0.251	0.235	0.221	0.211	0.2

TABLO E-5

Çift simetrlili kesitlerde kesit değerleri



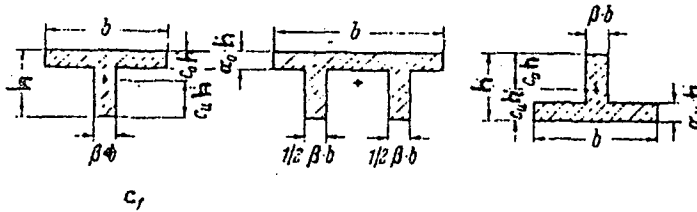
$$\frac{c_o}{c_u} = 1, \quad c_o = c_u = 0,5$$

$$A = c_f b h, \quad W_2 = \frac{c_i}{c_u} b h^2, \quad W_1 = \frac{c_o}{c_u} W_2$$

$$k_2 : k_1 = c_o : c_u$$

TABLO E-6

Tablalı kesitlerde kesit değerleri



o indisi u ile değiştirilir

$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{c_o}{c_u}}, \quad c_o = 1 - c_u$$

$$A = c_f \cdot b h, \quad W_2 = \frac{c_i}{c_o} b h^2, \quad W_1 = \frac{c_o}{c_u} W_2$$

$$k_2 : k_1 = c_o : c_u$$

$$\frac{c_i}{c_o}$$

TABLE E-5

$\frac{C_1}{C_2}$

β	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.00833	0.0512	0.0856	0.112	0.132	0.147	0.157	0.162	0.165	0.167	0.167
0.10	0.0167	0.0673	0.0808	0.116	0.134	0.148	0.157	0.163	0.165	0.167	0.167
0.15	0.0250	0.0634	0.0941	0.118	0.136	0.149	0.158	0.163	0.165	0.167	0.167
0.20	0.0333	0.0605	0.0854	0.121	0.138	0.150	0.158	0.163	0.165	0.167	0.167
0.25	0.0417	0.0736	0.103	0.124	0.140	0.151	0.159	0.163	0.165	0.167	0.167
0.30	0.0500	0.0817	0.107	0.127	0.141	0.152	0.159	0.163	0.165	0.167	0.167
0.35	0.0583	0.0877	0.111	0.130	0.143	0.153	0.160	0.164	0.166	0.167	0.167
0.40	0.0667	0.0938	0.116	0.132	0.145	0.154	0.160	0.164	0.166	0.167	0.167
0.45	0.0750	0.0998	0.120	0.136	0.147	0.156	0.161	0.164	0.166	0.167	0.167
0.50	0.0833	0.106	0.124	0.138	0.149	0.158	0.161	0.164	0.166	0.167	0.167
0.55	0.0917	0.112	0.128	0.141	0.152	0.159	0.162	0.165	0.166	0.167	0.167
0.60	0.100	0.118	0.133	0.144	0.154	0.160	0.163	0.165	0.166	0.167	0.167
0.65	0.108	0.124	0.137	0.147	0.154	0.160	0.163	0.165	0.166	0.167	0.167
0.70	0.117	0.130	0.141	0.150	0.156	0.160	0.163	0.165	0.166	0.167	0.167
0.75	0.125	0.138	0.145	0.152	0.158	0.161	0.164	0.166	0.167	0.167	0.167
0.80	0.133	0.142	0.148	0.154	0.159	0.163	0.165	0.166	0.167	0.167	0.167
0.85	0.142	0.148	0.154	0.158	0.163	0.165	0.166	0.167	0.167	0.167	0.167
0.90	0.150	0.155	0.160	0.164	0.167	0.169	0.170	0.171	0.171	0.171	0.171
0.95	0.158	0.161	0.162	0.164	0.166	0.168	0.169	0.170	0.170	0.170	0.170
1.00	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167

C_1

$\frac{k_1}{h}$

β	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.050	0.145	0.240	0.335	0.430	0.525	0.620	0.715	0.810	0.905	1.000
0.10	0.100	0.190	0.280	0.370	0.460	0.550	0.640	0.730	0.820	0.910	1.000
0.15	0.150	0.235	0.320	0.405	0.490	0.575	0.660	0.745	0.830	0.915	1.000
0.20	0.200	0.280	0.360	0.440	0.520	0.600	0.680	0.760	0.840	0.920	1.000
0.25	0.250	0.325	0.400	0.475	0.550	0.625	0.700	0.775	0.850	0.925	1.000
0.30	0.300	0.370	0.440	0.510	0.580	0.650	0.720	0.790	0.860	0.930	1.000
0.35	0.350	0.415	0.480	0.545	0.610	0.675	0.740	0.805	0.870	0.935	1.000
0.40	0.400	0.460	0.520	0.580	0.640	0.700	0.760	0.820	0.880	0.940	1.000
0.45	0.450	0.505	0.560	0.615	0.670	0.725	0.780	0.835	0.890	0.945	1.000
0.50	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000
0.55	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000
0.60	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000
0.65	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000
0.70	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.75	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.80	0.800	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.85	0.850	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.90	0.900	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.95	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

β	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.05	0.107	0.353	0.367	0.385	0.394	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
0.10	0.107	0.302	0.321	0.311	0.292	0.268	0.245	0.223	0.202	0.183	0.167
0.15	0.107	0.270	0.294	0.273	0.246	0.220	0.195	0.170	0.145	0.120	0.107
0.20	0.107	0.248	0.273	0.246	0.219	0.193	0.167	0.141	0.115	0.090	0.077
0.25	0.107	0.221	0.246	0.219	0.193	0.167	0.141	0.115	0.090	0.064	0.051
0.30	0.107	0.211	0.233	0.206	0.180	0.154	0.128	0.102	0.076	0.050	0.037
0.35	0.107	0.204	0.222	0.195	0.169	0.143	0.117	0.091	0.065	0.039	0.026
0.40	0.107	0.204	0.219	0.193	0.167	0.141	0.115	0.089	0.063	0.037	0.024
0.45	0.107	0.204	0.214	0.188	0.162	0.136	0.110	0.084	0.058	0.032	0.019
0.50	0.107	0.204	0.212	0.186	0.160	0.134	0.108	0.082	0.056	0.030	0.017
0.55	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.60	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.65	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.70	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.75	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.80	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.85	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.90	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
0.95	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015
1.00	0.107	0.204	0.210	0.184	0.158	0.132	0.106	0.080	0.054	0.028	0.015

TABLE E-6

[illegible][illegible][illegible][illegible]

EK-B

Bölüm 13'de Misal Olarak Verilen Problemin Lineer Programlama İle Bulunan Minimum Öngörme Kuvvet Değerinin Bilgisayar Çıktısı.



Summarized Results for ihsan5

Page : 1

Variables No. Names	Solution	Opportunity Cost	Variables No. Names	Solution	Opportunity Cost
1 X1	298.3285	0.0000	7 S4	118.3430	0.0000
2 X2	119.3314	0.0000	8 A4	0.0000	0.0000
3 S1	449.0000	0.0000	9 S5	0.0000	1.5916
4 S2	0.0000	0.3634	10 S6	0.0072	0.0000
5 A2	0.0000	-0.3634	11 A6	0.0000	0.0000
6 S3	213.6570	0.0000			

Minimum value of the OBJ = 298.3285 Iters. = 6

Press any key to continue.

EK-C

Aralık-Sederek Karayolunda Aras Nehri Üzerindeki Aras Karayolu Köprüsünde (Hasret veya Umut Köprüsü) Öngerilmeli Beton Kirişlerde Uygulanacak Olan Öngerme Kuvvetinin Lineer Programlama İle Bulunan Minimum Değerinin Bilgisayar Çıktısı.

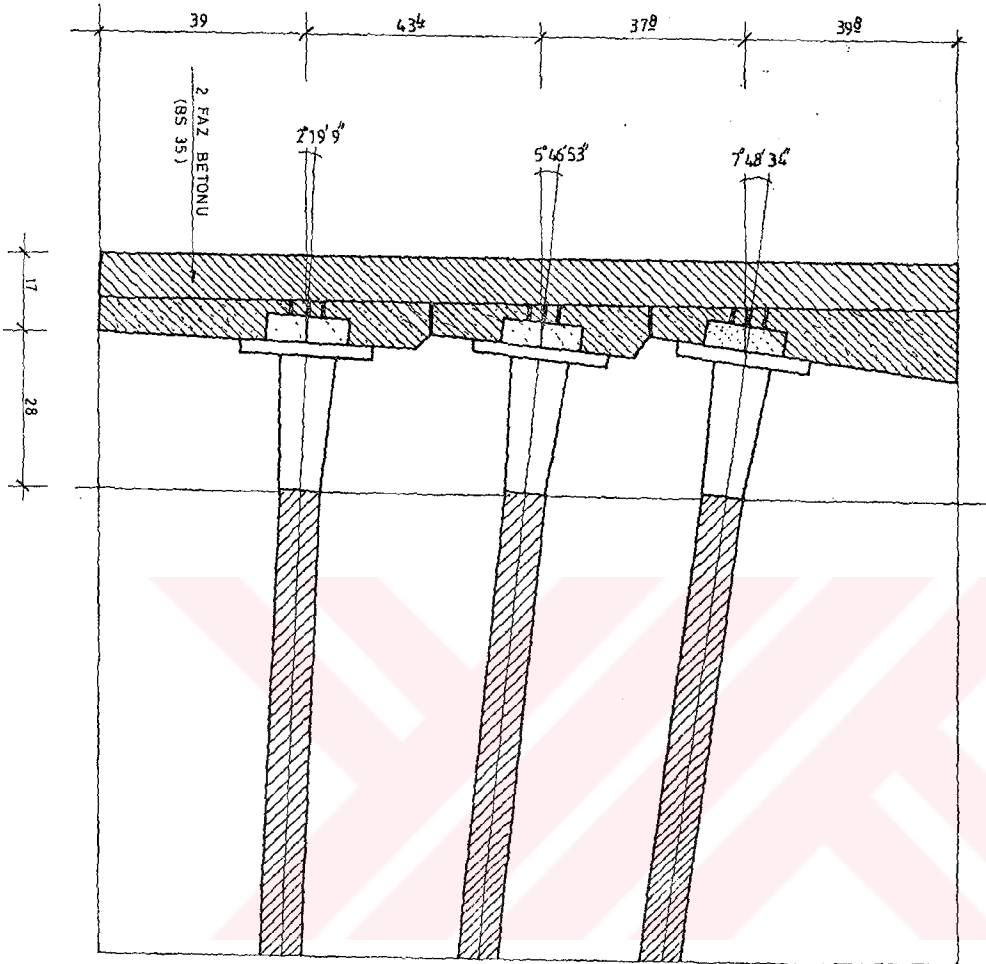
Summarized Results for guzel3						Page : 1	
Variables No. Names		Solution	Opportunity Cost	Variables No. Names		Solution	Opportunity Cost
1	X1	632.9307	0.0000	6	S4	0.0000	0.4929
2	X2	376.3406	0.0000	7	A4	0.0000	-0.4929
3	S1	640.6060	0.0000	8	S5	0.0000	0.8528
4	S2	428.0280	0.0000	9	S6	0.0739	0.0000
5	S3	411.5963	0.0000				
Minimum value of the OBJ = 632.9307 Iters. = 6							

Press any key to continue.

EK-D

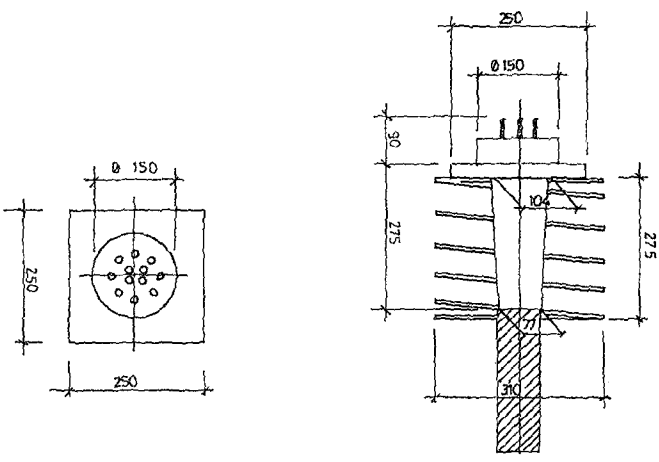
Aralık-Sederek Karagolunda Aras Nehri Üzerindeki Aras Karayolu Köprüsüne Ait Germe Tarafında Kablo Ucu Ankraj Detayı, Germe Ankraj Detayı, Mesnet Enlemesi Kalıbı, Donatısı ve Kesiti, Açıklık Enlemesi Kalıbı, Donatısı ve Kesiti, Sabit Kablo Ankrajı Detayı ve Kesiti, 1/2 Ana Kiriş Kablo Yörüngeleri ve Mesnet ve Açıklıkta Öngerilmeli Beton Kiriş Çizimleri.

GERME TARAFINDA KABLO UCU ANKRAJ DETAYI

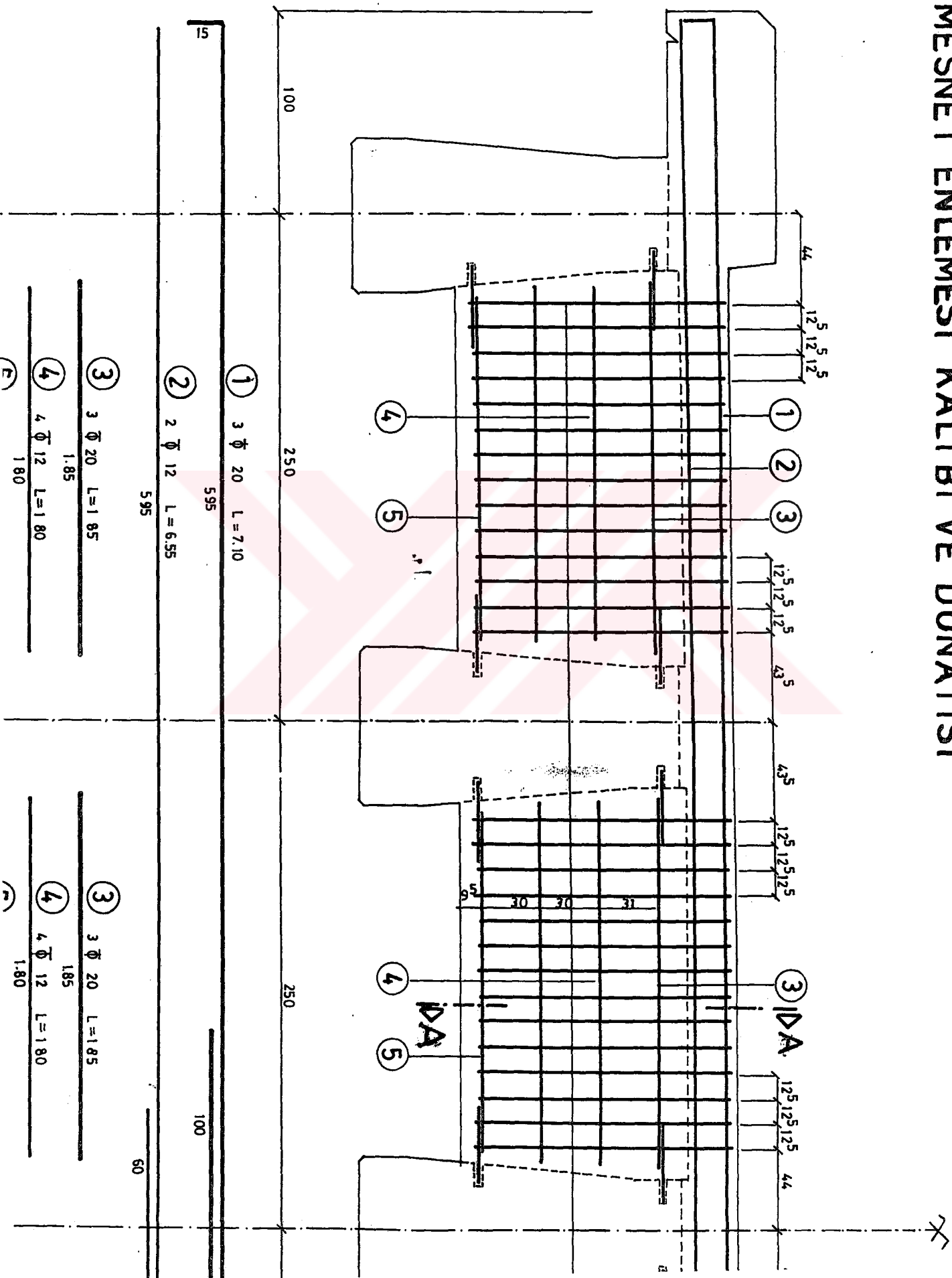


NOT
TÜM GERME İŞLEMLERİ TAMAMLANIP ENJEKSİYON YAPILDIKTAN VE HARÇ SERTLEŞTİKTEN SONRA BS 35 KALİTESİNDE 2 FAZ BETONU DOKÜLECEKTİR.

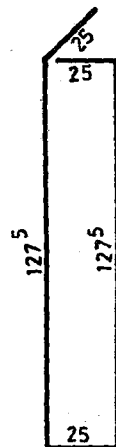
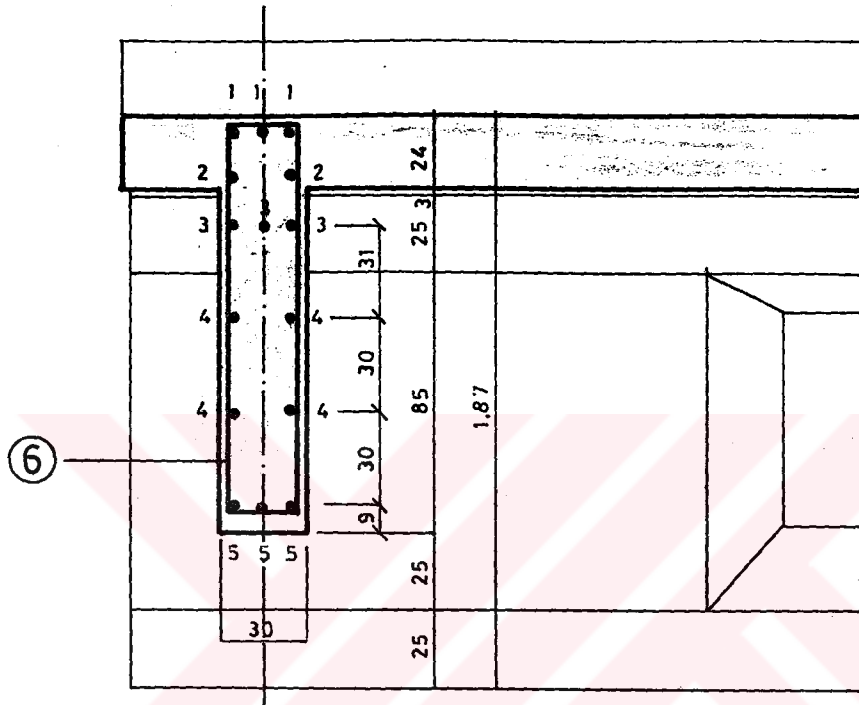
GERME ANKRAJ(TİP E) DETAYI (ölçüler mm dir)



MESNET ENLEMESİ KALIBI VE DONATISI

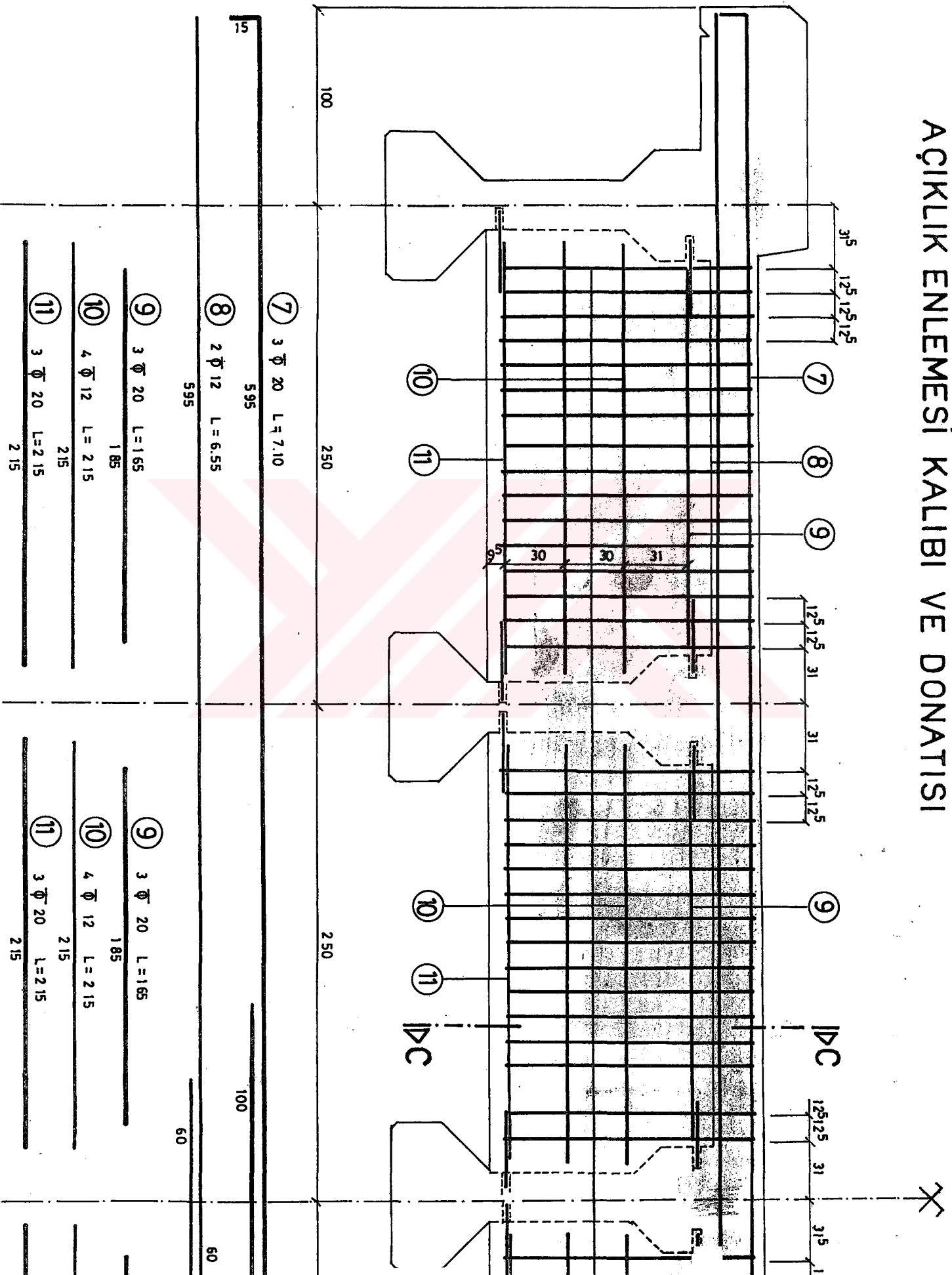


A-A KESİTİ

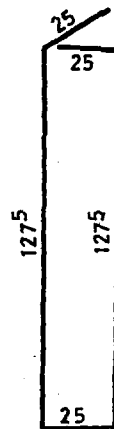
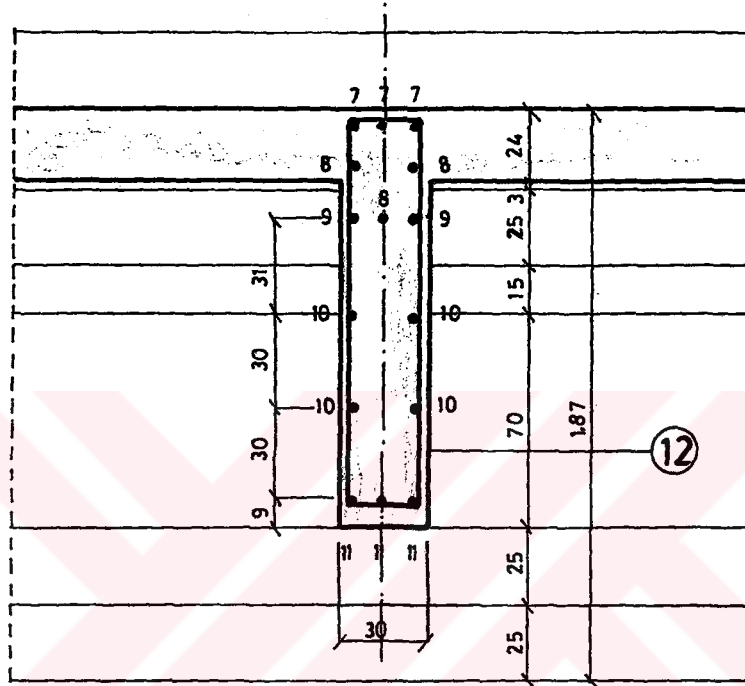


⑥ 56 $\varnothing$ 10 L=330

AÇIKLIK ENLEMESİ KALIBI VE DONATISI



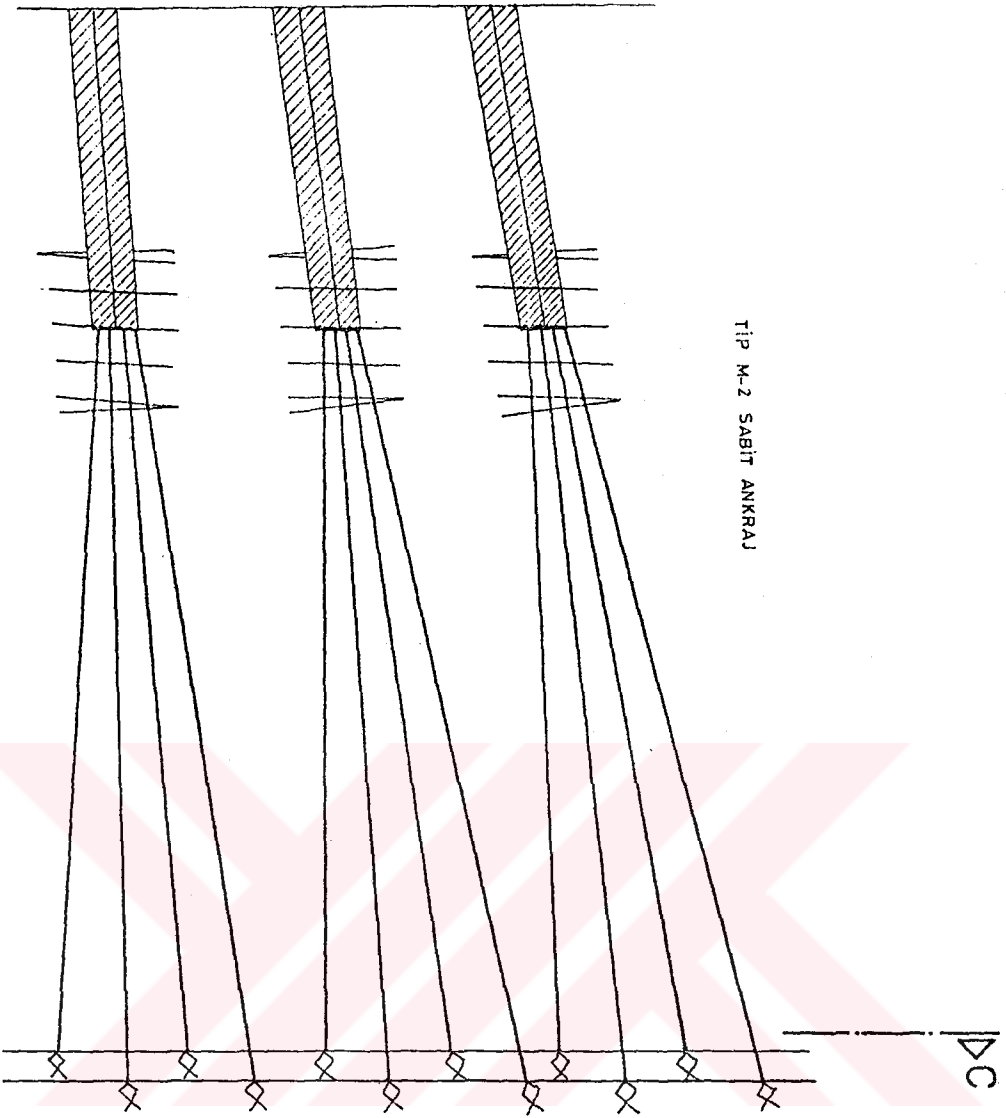
C-C KESİTİ



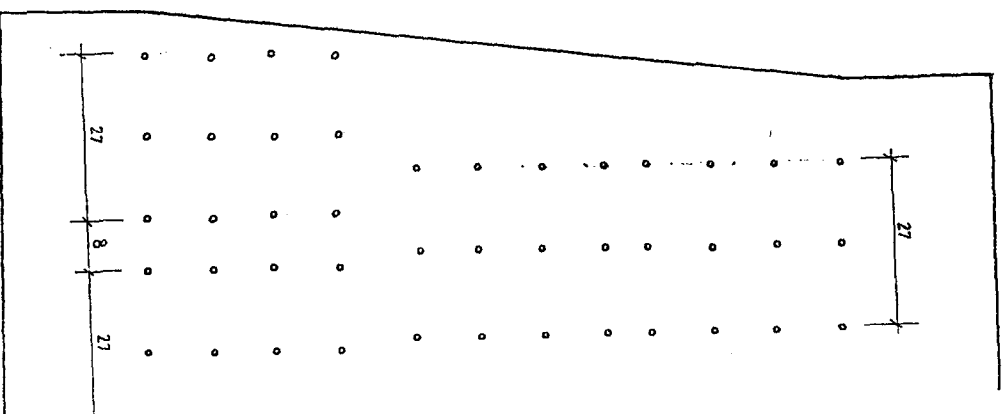
12 64 $\Phi 10$ L=3.30

SABİT KABLO ANKRAJ DETAYI

TİP M-2 SABİT ANKRAJ



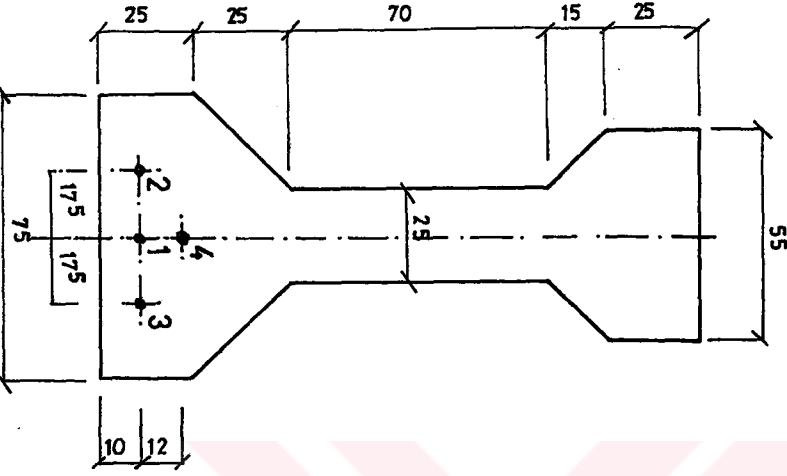
C-C KESİTİ



1/2 ANA KIRIŞ KABLO YÖRÜNGELERİ



D D ENKESİTİ



C C ENKESİTİ

